

# 数字孪生技术

## ——构建煤矿全生命周期智能管理新范式

郑刚

(山西兰花科技创业股份有限公司伯方煤矿分公司)

在“十五五”规划强调科技自立自强与关键核心技术攻关的背景下,煤炭行业的智能化建设正从单点、局部的技术应用,迈向全要素、全流程、全产业链的深度融合与系统重构。数字孪生,作为实现物理世界与信息世界虚实交互、动态映射的核心使能技术,正从设计制造领域加速渗透至煤炭行业,成为驱动矿山从“自动化”向“智能化”、“智慧化”跨越的前沿引擎。它通过构建一个与物理矿井同步运行、镜像映射的“虚拟矿井”,为矿山的勘察设计、生产运营、安全保障乃至闭坑回填提供全生命周期的智能管理新范式,是煤矿企业需重点关注的前沿方向。

### 一、技术内涵与行业价值:从“描述现状”到“预测未来”

数字孪生并非简单的三维可视化,而是一个集成了高精度建模、实时数据驱动、工业机理分析、模拟仿真推演和智能决策于一体的复杂系统。其核心价值在于三大能力的跃升:

**1. 全景透视能力:**整合地质勘探数据、测绘数据、设备模型、物联网(IoT)感知数据(来自5G网络、工业环网、单兵装备等),构建毫米级精度的矿井三维动态模型,实现地下复杂环境的透明化,让不可见的地质构造、设备状态、人员位置一目了然。

**2. 模拟推演能力:**基于真实的物理规律和算法模型,在虚拟空间中对开采方案、通风网络、灾害演化、应急逃生等进行超前模拟与优化。例如,可在数字世界中先行测试新工作面的开采工艺,预测其对地表沉陷的影响,或模拟瓦斯异常涌出后的最佳避灾路线,从而将风险化解于未然。

**3. 预测决策能力:**通过机器学习分析历史与实时数据,数字孪生体能够对设备故障进行预测性维护(如预警采煤机关键部件的磨损周期)、对生产系统进行自适应优化(如动态调整主运输皮带的运力配置),并能为管理者提供从“发生了什么”到“为何发生”再到“将发生什么”的决策支持,实现从被动响应到主动干预的根本转变。

### 二、前沿探索与实践案例:从“单项应用”到“系统融合”

当前,行业领先企业和科研机构已在多个场景开展深度探索:

**设备健康管理与预测性维护孪生:**为关键大型设备(如主通风机、提升机)建立高保真机理模型,实时映射其运行状态、温度、振动等参数。通过比对虚拟模型与实体设备的运行偏差,提前预警潜在故障,制定精准维修计划,大幅降低非计划停机时间。

安全应急与协同指挥孪生:在孪生环境中集成人员定位、环境监测(瓦斯、一氧化碳等)数据。当发生灾变时,系统可基于实时灾情动态模拟灾害蔓延路径,自动生成井下人员最优避灾路线,并同步至救援人员单兵装备,实现救援力量的精准调度与可视化指挥,极大提升应急救援效率与安全性。

基于数据中台的孪生底座建设:前述所有应用均依赖于一个强大的数据中台作为支撑。数据中台承担着汇接“机器人巡检、5G网络回传、工业环网传输、单兵装备采集”等多源异构数据、进行统一治理与价值提炼的核心任务,为上层数字孪生应用提供高质量、标准化的“数据燃料”,是数字孪生体系得以运行的“中枢神经”。

### 三、挑战与展望:迈向自主可控的矿山

尽管前景广阔,数字孪生在煤矿的全面落地仍面临高精度建模成本高、多源数据融合标准缺失、专业复合型人才短缺等挑战。展望“十五五”,其发展

(上接第34页)

CO<sub>2</sub>产品储罐。

装置工作压力~3.0MPa,产品压力2.0~2.2MPa。

### 三、主要产品与利用方向

1、食品级CO<sub>2</sub>:纯度99.9%,用于碳酸饮料、食品保鲜,需增设干燥、精脱硫等精制单元。

2、化工转化产品:与液氨制碳酸氢铵;与甲醇制碳酸二甲酯;与石灰乳制纳米碳酸钙;回用于纯氧气化炉作气化剂,降低氧耗。

### 四、具体工艺需进行市场调研和可行性方案设计

附件:全国碳市场每周综合价格行情及成交信息

将呈现以下趋势:

1. **技术集成化**:与5G、人工智能、边缘计算技术的结合将更加紧密,实现“云-边-端”协同的实时孪生。

2. **应用平民化**:随着工具链的成熟和成本下降,数字孪生将从大型复杂系统向采掘班组、机电硐室等更小单元普及。

3. **生态开放化**:需要行业共同推动数据接口、模型标准的统一,构建开放合作的产业生态。

数字孪生技术正重新定义煤矿的建设和运营方式,它将孤立的“机器人、5G网络、工业环网、单兵装备”等智能单元,通过“数据中台”有机整合为一个可感知、可分析、可预测、可控制的智慧有机体。对于志在“十四五”末建成智能化示范矿井、于“十五五”期间实现全面智慧化转型的煤炭企业而言,前瞻性布局 and 战略投资于数字孪生技术,不仅是拥抱技术前沿的必然选择,更是构筑未来核心竞争壁垒、实现安全、绿色、高效发展的关键路径。

【CEA周报】全国碳市场每周综合价格行情及成交信息20260112-20260116

全国碳交易 2026年1月16日 15:50 上海

全国碳排放权交易 2026年01月12日-2026年01月16日			
全国碳市场每周综合价格行情			
名称	价格	单位	
本周最高	83.40	元/吨	
本周最低	72.50	元/吨	
收盘价	1月9日	75.96	元/吨
	1月16日	78.50	元/吨
	涨幅	3.34%	-

本周全国碳市场综合价格行情为:最高价83.40元/吨,最低价72.50元/吨,收盘价较上周五上涨3.34%。

本周挂牌协议交易成交量117,630吨,成交额9,143,346.70元;大宗协议交易成交量2,842,000吨,成交额189,874,000.00元;本周无单向竞价。

本周全国碳排放配额总成交量2,959,630吨,总成交额199,017,346.70元。

2026年1月1日至1月16日,全国碳排放配额成交量7,647,698吨,成交额551,029,228.20元。

截至2026年1月16日,全国碳排放配额累计成交量872,514,218吨,累计成交额58,213,647,459.77元。

全国碳市场每周综合价格行情及成交信息