

# 水泥行业数字化转型方案探讨

孙成国

(中国建材集团有限公司, 北京 100048)

**摘要:** 对水泥行业的数字化转型, 主要从行业数字化转型的必要性、数字化转型的业务驱动、数字化转型的建设内容和建设步骤做一理论论述。在数字化转型的工程落地实践方面, 主要从业务系统应用、IT基础设施建设、技术平台搭建、人工智能大数据AI集成和系统安全管理及运维管理等几方面, 做了具体的实施说明, 对面临数字化转型的生产企业来说, 具备一定的参考意义。

**关键词:** 水泥; 数字化; 智能化; 绿色工厂

中图分类号: F42; T0172

文献标识码: A

文章编号: 1671-8321(2023)04-0083-05

## 1 水泥行业数字化转型意义、驱动力和现状

### 1.1 水泥行业数字化转型意义

数字化转型本质是利用数字化技术, 重构商业模式, 商业流程, 产品, 服务和用户体验, 与终端消费行业不同, 水泥行业传统形象是高能耗、高污染材料制造产业, 在城镇化战略指导下, 近年保持高位需求, 但从全局看, 2021年全国总产量在23亿吨左右, 已进入行业发展平台期后端, 随着新型基础建材应用, 水泥行业很可能在未来进入衰退期, 进行数字化转型成为必然。

### 1.2 水泥行业数字化转型驱动力

水泥行业进行数字化转型的驱动力来自两方面:

第一, 国家政策层面, 将数字化转型目标又归结为六方面, ①行业内数字化服务总包商数量; ②数字矿山数量; ③智能工厂数量; ④工业互联网平台数量; ⑤工控软件国产化覆盖率; ⑥安全管理体系建设。符合产业政策的行业可获得政策支持、研发经费和示范性项目推广, 未完成转型的企业将面临安环、能耗超标被淘汰出局。

第二, 自身驱动力, 水泥企业面临产品价格波动, 原燃材料价格, 人工成本上涨, 行业政策收紧等问题, 除加强精细化管理、改进工艺装备外, 使用数字化技术进行质量管控, 节能减排, 安全生产, 减员增效是最直接最经济的方式。

### 1.3 水泥行业数字化转型现状

从数字化角度看, 基本情况为水平参差不齐, 与标准要求相差远, 转型还存在如下困难:

(1) 总规划欠缺或落实不力, 没有遵循“规划、投资、标准、平台、建设、管理”六统一原则, 使用成效考核缺失。

(2) 投入不足, 重“工艺设备改造、生产、销售、节能、节流”, 轻信息化数字化投入, 无统一数据中心。

(3) 数字化技术未能转换高效生产力, 其他行业已有大量应用, 水泥行业的数字化工程落地能力差。

(4) 缺乏复合型数字化技术团队, 行业领军企业内部, 上下游之间缺乏有效协同。

(5) 生产过程数控率低, 有的还处于机械化电气化阶段, 自动化覆盖率低, 工控软件国产率低, 存在数据安全隐患。

(6) 已建成信息化系统全级次应用覆盖率低, 数据互通共享困难。

(7) 网络和数据安全只限于建立等保制度, 强制执行力度不够, 工业互联网安全保护处于起步阶段。

## 2 水泥行业数字化转型需求分析思路

水泥行业生产企业虽多, 但基本格局为头部企业分天下, 领军企业掌握核心产能和主要市场, 其数字化转型战略和实施路径, 直接影响行业数字化水平。

水泥因运输距离受限被称为“短腿产品”, 正常运输半径在200~300km之间, 为高效管理, 行业内大多采用集团总部, 区域公司, 生产工厂三级管理架构, 即总部下设多个区域公司, 各区域公司分别管理若干生产工厂



(区域公司可再细分地市级公司)。

总部职能定位为战略引领、资源配置、资本(资金)集中运作, 风险防控, 安环管理和投资管理等; 区域公司职能定位为工厂管理, 集中采购, 集中销售; 生产工厂职能定位为产品生产和成本控制。

无论哪一层级公司的生产经营管理, 都离不开人财物三项, 财、物管理更是依托人的管理, 核心需求还是管理人员需求, 转型分析必须以组织架构内各层级管理人员的需求为基础, 根据职能定位展开详细需求调研。

### 3 水泥行业数字化转型建设方案探讨

数字化转型离不开信息化基础设施夯实、管理系统建设和智能新技术应用, 一般来说包括“四台”建设, 即: 经营管理信息化平台、生产运营数字化平台、先进制造平台和数字化 IT 基础平台。

#### 3.1 经营管理信息化平台建设

水泥生产行业特点为, 下级公司分散在不同地区进行生产销售, 经营管理信息化平台是集团总部实现管理职能抓手之一, 包括但不限于: 党建、纪检、审计、巡视、安环、风控、科技、投资和人力系统建设, 采用云方式统一部署在集团, 使用范围覆盖二级区域公司和三级生产企业, 下属企业通过公司帐号进行登录, 对同一系统进行复用, 实现自上至下的管理穿透, 也可根据精细化管理要求, 继续向下扩展穿透, 横向到边, 纵向到底全级次应用。

目前行业内信息化平台普遍存在如下不足: ①人工录入数据量占比大; ②未达到全级次企业覆盖; ③各管

理系统数据互通共享程度低。进行数字化转型, 除补齐管理系统种类, 还可通过集中部署方式, 提高系统应用覆盖率, 解决不同系统间数据互通问题, 可引入自动数据采集技术, 解决人工录入数据的准确性和及时性问题。

#### 3.2 生产运营数字化管控平台建设

区域公司的职能定位包括下属企业生产运营管理, 原燃料集中采购, 产品集中销售, 运营数字化管控平台建设功能包括但不限于: 集中采购, 集中销售, 物流、仓储、销售、客户、质量、收款开票、财务、税务等管理系统, 业财一体化也可根据需要建设。

平台集中部署在各区域公司所在地, 如集团总部有统一数据中心, 也可集中部署, 通过网络专线进行访问, 运营平台需要采集的下级生产企业数据, 由下属生产企业通过公司帐号登录录入提供, 或由数字化管控平台到三级企业生产平台抓取, 生产企业提供标准接口, 实现对区域生产运营平台复用, 集团经营管理平台需要汇集的数据, 由生产运营平台通过统一的数据标准, 数据接口, 以数据微服务方式供集团平台调用。

#### 3.3 先进制造平台建设

水泥生产企业涉及到原燃料、矿山、质量、设备、工艺、电气自动化、建筑布局、给排水通风制冷、能源利用、安全环保等多学科领域, 核心生产目标为: 质量稳定, 安全生产, 环保达标, 节能减排, 降本(减员)增效, 最高产量。

水泥先进制造平台部署在三级生产企业, 一般包括“生产数字化管控平台”、“工业互联网平台”和“智能制造平台”三个子平台。

图1为先进制造平台业务架构图。

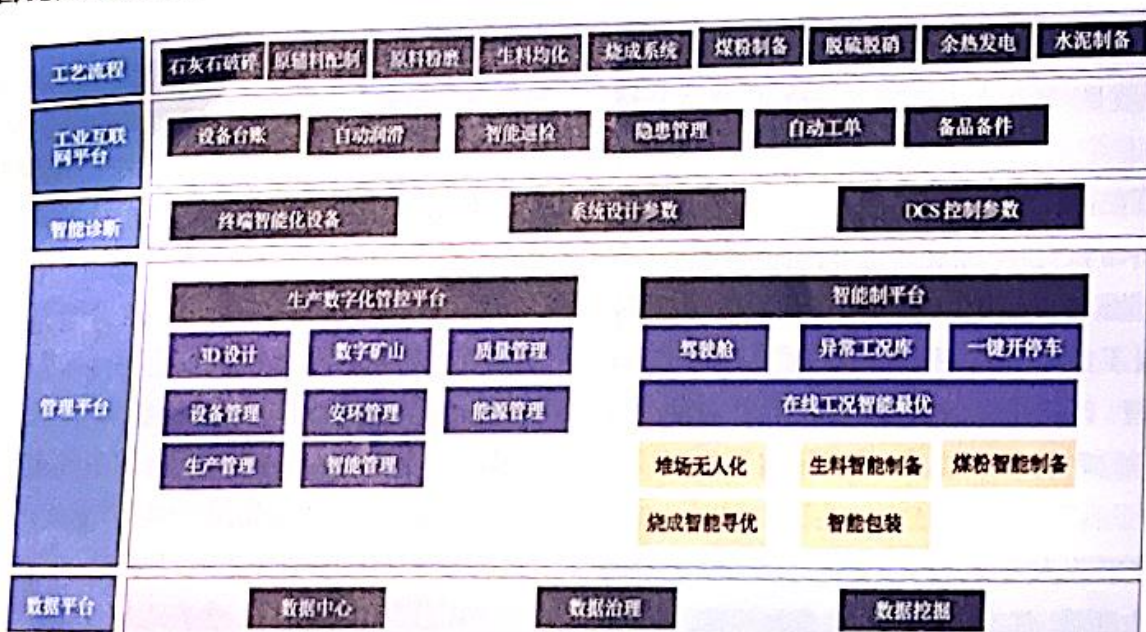


图1 先进制造平台业务架构图



### 3.3.1 生产数字化管控平台

水泥生产行业特点为, 高温(环境)、高压(负压)、高空、高粉尘, 非线性, 强干扰, 大滞后, 生产干扰因素多, 受技术条件限制, 传统以人管理为主, 生产数据获取难, 准确性差, 自动化控制水平低, 数据利用率低, 随着数字化创新技术、工程技术和工程装备制造技术发展, 数字化管控所需的数据采集装备和数据传输处理技术都有了可靠供应商, 5G技术和边缘计算技术, 强化了现场设备(包括视频监控)的数据采集能力和处理能力, 进行数字化管控成为可能。平台功能一般如下:

(1) 数字化3D设计平台, 主要解决四个问题: 第一, 设计元素标准化, 将传统AutoCAD和三维技术结合, 通过BIM模型建立图标与数据对应关系, 实现设计数据结构化存贮和交付; 第二, 完成工艺、电气、水道、暖通、基建并行设计时的交叉碰撞检查; 第三, 以3D模型仿真展示工艺流程参数和生产数据; 第四, 在3D模型上对DCS、PLC进行反向操作。

(2) 数字矿山管理, 涉及地质、生产、设备的信息采集整理、传输、智能化操控、可视化展示、规范集成。包括信息数字化, 生产智能化和数字化展示三个建设阶段, 对应三个系统。

第一, 数字采矿平台, 依托涉及到的采矿自动化, 智能化设备、传感器与执行设备数据, 建设质量控制、设备巡检、安全环境监测、生产调度、材料能源、事故应急、岗位培训功能模块, 将设计、计划、生产、调度集成在三维可视化平台上管理; 第二, 自动采矿系统, 将AI智能识别技术应用到铲装设备、运输车辆上进行安全管控, 利用5G和无人自动驾驶技术, 实现无人驾驶功能; 第三, 3D数字孪生展示系统, 集成智能视频, 辅助AI算法, 实现采矿全过程数据记录和异常识别报警。

#### (3) 质量管理

包括: 凝结时间、强度、安定性和耐久性几个指标, 与水泥生料, 熟料中关键化学成分比率、原料配料比、预分解处理、煅烧温度控制、冷却控制和粉磨混合材种类有关, 质量管理模块通过监测原料成分, 粒度, 生产过程中的硅率、铝率和石灰石饱和系数三率值变化, 及烧成过程的生产过程数据, 动态展示变化趋势, 与“智能制造平台”中的质量控制AI算法结合使用, 保持熟料质量在合理区间内震荡。

#### (4) 能源管理

水泥生产过程中的最大能耗为煤、电和油, 可利用数

字化技术收集生产过程中各类能源消耗, 实时计算单位熟料, 单位水泥的能耗情况, 为生产优化和领导决策提供依据。

#### (5) 安全生产管理

水泥安全生产包括对人、设备、车辆、环保排放管理, 通常包括: 人员(包括外委人员)管理、外委工程管理、安全培训、考核、资格证管理、作业管理、应急管理、事故管理和安全预警等功能模块, 结合智能监控终端、边缘计算、大数据和AI人工智能数字化技术, 可高效发现人员违规作业、设备跑冒滴漏, 车辆超速, 排放超标等情况, 通过可视化管理工具, 全面获取全局安全生产数据, 及时应对, 完成安全制度执行, 人员培训教育, 风险分级管控和隐患排查等工作。

#### (6) 生产管理

水泥生产管理系统一般包括: 生产计划管理、库存管理、排班管理、调度管理、备品备件管理和生产台账报表。生产计划、物资需求计划根据销售计划进行调整; 库存管理引入3D扫描技术进行存量测算和3D展示, 节省盘库人力物力, 使用数字化技术打通原燃料、辅料掺合材料、备品备件的人库、出库、移库盘库数据; 排班管理支持多班组、多班次灵活配置的生产组织方式; 调度管理汇集原燃料进厂库存、熟料库存、生产消耗数据和设备健康数据, 为生产调度提供参考数据, 合理安排采购运输, 检修作业; 台账管理融合了生产过程数据, 设备数据、安全环保数据和视频监控数据, 生成生产台账, 通过仪表盘展示给管理人员, 为各班次生产绩效考核提供依据。

#### (7) 供应链智慧物流管理

利用5G、移动互联技术, 智能AI, 对外自动获取供应商, 运输车辆数据, 对内自动计量进厂原燃材料数据, 熟料出厂发运数据, 预测库存量, 打通供产销存数据, 辅助编制生产计划, 提高车辆调度及时性和准确性, 降低采购物流成本, 维持合理库存量, 降低仓储成本。

#### (8) 环保排放管理

生产排出SO<sub>2</sub>和NO化合物会破坏臭氧层, 产生酸雨, 行业内普遍采用SNCR、SCR或者SCR+SNCR组合工艺环保排放, 可利用数字化技术对脱硫脱硝工艺优化, 实时监控存贮排放数据, 预测NO<sub>x</sub>变化趋势、烟气温度分布, 确定还原剂用量和分配方式, 实现超低排放。

### 3.3.2 工业互联网平台

工业互联网本质是实现人、机、物、系统之间的互联



互通, 重构全产业链的制造流程体系和全价值链的用数字化技术在水泥工业互联网核心应用是, 通过网络和协议实现工业设备互联, 通过远程监控、自动巡检、故障诊断、预见性维护功能完成智能化运维, 通常包括设备台账管理、润滑管理、智能巡检(手持设备和中控大屏)、隐患管理, 工单管理, 派单验收功能, 形成闭环运维管控。

智能巡检以设备台账为基础无死角覆盖, 自动发出润滑信息, 将传统离线巡检与在线巡检融合, 除通过摄像头监控跑冒滴漏外, 中控大屏巡检还可以通过热电阻, 热电偶, 变送器信号(温度、压力、流量、振动、料位、电压、电流、功率)等非直观数据来监控设备内部情况, 实现状态可视化, 智能化预警, 降低巡检工作量, 减少巡检人员, 减员增效。利用大数据技术分析历史数据, 对发现的隐患自动派发检修工单, 实现智能诊断与人工维护无缝对接。

### 3.3.3 智能制造平台

水泥生产最优工况是风、煤、料、窑速、篦冷机速度之间的平衡, 完成质量稳定、产量最大、节能减排的生产目标, 现有DCS部分实现了自动化控制(破碎, 质量分析, 预热温度, 喂煤, 窑速, 篦冷机速度), 但都是粗粒度级别, 生料粉磨、煤粉制备、熟料烧成和水泥制备分段和整体工艺更多依靠中控操作员的经验, 存在主观随意、操作滞后、操作差异性和个体技术差异等弊端。

数字化解决思路为, 根据生产线设计和现场条件, 建设全局热工状况和异常工况库, 与数据中台实时收集的生产数据、工艺数据、能耗数据和质量数据进行结合, 建设机器学习模型, 利用“大数据+AI人工智能算法”技术, 依靠海量历史数据, 和平台算力算法, 训练全流程工序学习模型, 实现对异常工况的智能识别, 回转窑热工效率的量化评估, 通过DCS、SCADA、PLC控制软件, 将对应操作反馈到关键设备和工艺参数控制, 实现质量稳定, 能耗最小, 产能最高, 效益最大, 提高整体自动化水平。

智能化改造原则为: 对原系统保护、投运时无强扰动无缝对接、具备整体或局部回路快速切换功能、识别错误数据预警、故障自动切换。

### 3.3.4 平台基本功能

(1) 智能驾驶舱, 集中展示工厂质量数据、设备数据、能源数据、生产排产数据、安环数据、原燃料入库、出库、库存、生料熟料产量、累积量、能耗、台时产量、单耗等数据, 满足生产管控和领导决策需要。

(2) 异常工况处理, 水泥生产常见异常工况包括

几十种(例如: 高温风机停机, 堵塞, 断料断煤, 电机停机, 窑内结蛋, 结圈, 跑生料, 红河, 堆雪人等, 可建设专家知识库系统, 将每一种异常工况的修正操作逻辑固化。

(3) 一键开停车, 解决错峰生产需要人为开停车, 可在传统DCS之上, 按“逆流启动, 顺流程停车”原则, 一键固化操作工序, 降低设备误操作, 空转时间, 电耗。

#### (4) 大数据加AI智能调优功能

1) 堆场自动化, 建设三维数字化堆场模型, 利用中子、荧光分析仪, 对堆场的原燃料检测成分, 形态扫描, 解决车辆作业碰撞问题。

2) 质量智能预测, 基于历史工艺和实验室质量大数据及化验室质量数据, 建立水泥强度、游离氧化钙、氧化镁与生熟料三率值与工艺操作的模型, 质量偏离绘制的曲线时, 自动调整风、煤、料配比。

3) 生料智能粉磨, 通过激光粒度分析仪、辊压机负荷、系统风量风温、生料细度数据, 调节喂料量、热风阀开度、选粉机速度, 防止过粉磨、欠粉磨现象, 降低电耗。

4) 煤粉制备智能化, 监控磨机振动、磨内压差、电机电流, 调整喂料量, 研磨压力, 稳定磨机负荷; 监控出磨煤粉水分, 调整进磨冷热风阀; 监控煤粉细度, 调节选粉机转速和磨机风量、回料量; 监测粉尘 CO、O<sub>2</sub>含量, 防止爆炸。

5) 烧成窑尾智能化, 以分解炉温度、五级筒出料温度、三次风温、分解率、分解炉气氛(CO、O<sub>2</sub>含量)为监控指标, 控制窑尾风机转速、三次风量、喂煤风机风压、喂煤秤流量, 防止不完全燃烧。

6) 回转窑智能化, 在控制窑头负压, 窑内CO含量情况下, 监控生熟料三率值, 游离氧化钙氧化镁等工艺参数保持在设定范围内, 自动反馈DCS及智能终端进行对应操作, 降低煤耗电耗, NO<sub>x</sub>、CO排放, 实现风、煤、料之间的平衡, 减轻中控员工作压力。

7) 窑头看火视智能化, 采用AI算法评估窑内烧成状况, 对火焰形状和亮度进行量化打分, 做为自动调整煤量依据, 解决传统人工观察标准不一, 经验差异化, 人员易疲劳, 反映变慢问题。

8) 冷却系统智能化, 控制熟料在篦床上的速度、各冷却区域冷空气分配和压力, 提高换热效率, 提升二次、三次风温, 最大回收热量, 降低余风温度和风量。

9) 余热发电智能化, 监控PH炉和AQC炉进口的热气温度、负压, 调整水泵速度和蒸汽阀开度, 稳定蒸汽温度