

附件 1:

水泥行业数字化转型技术指南

建筑材料工业信息中心

2024 年 9 月

课题组

组长：江 源

成员：韩冬阳 胡雅涵 谭东杰 寇贞贞
袁英敏 孙 愚 万佳艺 李安朋
孙泽华 叶凌滔 修 瑞 张成伟
辛佳乐 姜龙兴 王 真 王秋富
朱建军 钱志福 吴 彤 辛 琪
陈泽洋 冯 浩 刘 伟 肖晓选
卢叔敏 叶明虎 张 爽 王昭动
韦 鹏 白云峰 俞利涛 余 意
何申中 王恒兵 徐 铭 胡义宏
陈 洋 束正华 杨小兵 徐 达
王超华 王书信 王 涛 许 青
王炎飞

专家组

蒋白桦 于美梅 王孝红 范永斌
张卫伟 许 越 王有科 刘素敏

前 言

本课题为工业和信息化部原材料工业司委托的专题研究项目，由建筑材料工业信息中心牵头组织成立了“建材行业数字化转型‘解剖麻雀’专题研究课题组”，成员涵盖科研院所、行业协会的专家学者及试点企业相关人员。

为做好专题研究工作，在工业和信息化部原材料工业司的指导下，课题组赴冀东水泥铜川有限公司、安徽海螺水泥股份有限公司白马山水泥厂、合肥南方水泥有限公司开展调研。通过实地考察、座谈交流等方式，课题组分为管理数字化和工艺数字化组分别对企业数字化转型及数字技术应用情况进行了详细调研，了解了企业转型难点、薄弱点与政策需求，研判了试点企业数字化转型潜力，并就下一步技术改造方向提出建议，最终形成了水泥行业数字化转型技术指南。

本项目参与单位及人员：

建筑材料工业信息中心：江源、韩冬阳、胡雅涵、谭东杰、寇贞贞、袁英敏、孙愚、万佳艺、李安朋、孙泽华、叶凌滔。

济南大学：王孝红。

中国水泥协会：范永斌。

中国建筑材料工业规划研究院：白云峰。

中国建材集团有限公司：张卫伟、修瑞。

北京金隅集团有限公司：王有科。

唐山冀东水泥股份有限公司：刘素敏、辛佳乐、姜龙兴。

安徽海螺水泥股份有限公司：许越。

南方水泥有限公司：王真、王秋富。

合肥南方水泥有限公司：朱建军、钱志福、吴彤、辛琪、陈泽洋。

冀东水泥铜川有限公司：冯浩、刘伟、肖晓选。

安徽海螺水泥股份有限公司白马山水泥厂：卢叔敏、叶明虎、张爽、王昭动、韦鹏。

中材国际智能科技有限公司：张成伟。

中才邦业（杭州）智能技术有限公司：俞利涛、余意。

安徽海博智能科技有限责任公司：何申中。

安徽智质工程技术有限公司：王恒兵、徐铭、胡义宏、陈洋、束正华、杨小兵、徐达。

安徽海螺信息技术工程有限责任公司：王超华、王书信、王涛、许青。

安徽海螺中南智能机器人有限责任公司：王炎飞。

本指南得到了国家智能制造专家委员会委员蒋白桦、于美梅等专家的指导和帮助。工业和信息化部原材料工业司领导高度重视指南编制工作，建材处有关负责同志参与调研，并对专题研究工作提出要求。安徽省经信厅原材料处负责同志参与相关企业调研。

目 录

一、总体要求	1
二、遵循原则	1
三、现状分析	2
四、主要目标	2
五、水泥行业数字化转型技术清单	3
六、水泥行业数字化转型技术路径及预期效果	5
(一) 数字化基础	5
(二) 数字化研发	5
(三) 数字化运营	6
(四) 数字化生产	8
(五) 数字化供应链	13
七、水泥企业数字化转型技术改造提升建议	13
八、未来水泥企业数字化转型展望	20
(一) 打造行业 AI 大模型，推动产业变革	20
(二) 加快数字孪生应用，驱动管理变革	20
(三) 建设“零员工”工厂，推进制造变革	20
(四) 延伸数字化服务链条，实现模式变革	21

水泥行业数字化转型技术指南

为深入贯彻党中央、国务院关于加快数字化发展的战略部署，落实《原材料工业数字化转型工作方案(2024-2026年)》《建材行业数字化转型实施指南》，聚焦新一代信息技术与建材行业融合发展，全面推进水泥企业实施数字化转型，实现高质量发展，特制定本技术指南。

一、总体要求

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的二十届三中全会精神，推进新型工业化，以加快建设数字中国为统领，以高质量发展为主线，坚持企业为主体、需求为导向、创新为动力，挖掘水泥行业数字化转型技改潜力，突出系统规划，聚焦转型重点，加快新理念、新技术、新模式应用，助力企业降本增效，推动建材行业整体实现转型升级，助推新质生产力发展。

二、遵循原则

坚持需求导向，聚焦重点。从水泥企业决策管理和业务发展数字化需求出发，突出靶向施治，着力解决一批影响企业数字化转型的卡点堵点问题，以重点突破带动整体推进。

坚持因企制宜，分类施策。针对不同管理模式、不同数字化阶段的企业提出不同的发展方向，引导企业结合实际需

要和既有条件，精准有序推进数字化转型。

坚持顶层推动，全局规划。引导企业从全局高度出发，整体部署、系统谋划数字化转型，确保企业全局性、全价值链、全要素统筹和协调推进数字化转型工作。

三、现状分析

水泥工业是国民经济发展、生产建设和人民生活不可缺少的基础原材料工业，水泥产量连续 38 年位居全球第一。近年来，在国家数字化相关政策的指引与支持下，水泥行业以自动控制、工业机器人为代表的关键技术装备应用取得巨大进步，智能装备和工业软件在行业内不断普及，低碳全流程智能化生产线成为水泥企业新标配。

课题组选取了我国水泥行业三大集团的 3 家典型水泥企业，作为水泥行业数字化转型“实验田”，开展“解剖麻雀”式的专题研究，选取三条生产线，其中两条为新建线、一条为老线改造，日产能覆盖 5000-10000 吨熟料，在水泥行业具有一定的代表性、典型性，为本指南提供了主要的基础数据和数字化转型技术路径支撑。

四、主要目标

到 2026 年，水泥行业数字化水平明显提升，关键工序数控化率达到 70%以上，关键业务环节全面数字化比例达到 55%以上，生产设备数字化率达到 60%，数字化转型成熟度 3 级

及以上企业达到 20%，数字化转型基础不断夯实，人工智能、大数据、5G 等新一代信息技术深化应用，新型能力建设成效显著，数字化发展水平大幅提升。

五、水泥行业数字化转型技术清单

表 1 水泥行业数字化转型技术清单

序号	技术名称			
1	数字化基础	网络与物联感知基础		
2		数据与算力基础		
3		工业互联网平台基础		
4	数字化研发	高仿真三维建模技术		
5		三维工艺流程组态技术		
6	数字化运营	数字化运营管控	全成本分析管控技术	
7			业财一体化管理技术	
8			智能决策技术	
9			数据管理技术	
10		数字化安全环保	云端监视及预警技术	
11			AI 智能安全行为识别技术	
12			环保智能管控技术	
13		数字化能源管理	智慧能源管理技术	
14			双碳平台	
15		数字化生产	原料制备	行车无人值守技术

16	产	数字化	堆场三维建模技术
17			堆取料机智能控制技术
18			生料智能配料技术
19			原料粉磨智能优化控制技术
20		烧成数字化	回转窑专家优化控制系统
21			热生料分解率在线检测技术
22			窑头看火视频实时温度识别技术
23		水泥制备数字化	水泥烧失量在线检测技术
24			水泥磨专家优化控制技术
25			水泥智能配料技术
26			水泥粉磨在线粒度检测技术
27		包装储存数字化	水泥智能包装技术
28			出厂水泥全自动存取样技术
29		物流运输数字化	智慧物流管理技术
30			进出厂物流无人值守技术
31			袋装水泥智能发运技术
32			散装水泥智能发运技术
33	设备管理数字化	设备全生命周期管理技术	
34		设备预测性维护技术	
35		设备智能巡检运维技术	
36	质量管理	全流程智能质量管理技术	

37		数字化	全自动化实验室
38			熟料游离钙在线检测技术
39			生料在线粒度检测技术
40			物料平衡系统
41		数字化供应链	供应链协同平台
42			电商平台

六、水泥行业数字化转型技术路径及预期效果

（一）数字化基础

技术路径：（1）网络与物联感知基础：持续优化升级企业网络基础、物联感知基础，强化网络安全、数据安全防护能力。（2）数据与算力基础：制定统一的数据标准，建立数据质量机制，合理规划建设数据中台与算力中心。（3）工业互联网平台基础：推进工业互联网平台建设，赋能企业生产经营多场景。

预期效果：企业数字底座不断夯实，网络安全防护能力提升，数据标准的制定为系统集成与数据互通奠定基础。

（二）数字化研发

技术路径：（1）高仿真三维建模技术：利用倾斜摄影、高仿真三维建模等数字化设计工具，对水泥生产流程进行三维建模和仿真分析。（2）三维工艺流程组态技术：建立三维工艺流程组态图，直观展示设备、管道、阀门等组件的空间

布局和相互关系，实现高度的工艺流程可视化。

预期效果：远程掌握生产现场情况，实现工艺过程的可视化、智能化，优化设备布局和工艺流程，提高生产效率。

（三）数字化运营

1. 数字化运营管控

技术路径：（1）全成本分析管控技术：建立知识库模块，调度各业务系统数据，动态结算每日营销、生产成本及管理费用等，实现全成本分析与智能管控。（2）业财一体化管理技术：打通企业的业务系统和财务系统，实现业务数据与财务数据的无缝对接和实时共享，通过业财一体化实现企业提质增效。（3）智能决策技术：从水泥生产管理需求出发，建立资源、生产、质量、能源、成本等多维度的综合运营管控平台，将各子系统数据互联互通，结合人工智能、大数据分析等技术实现智能决策。（4）数据管理技术：基于数据湖仓技术、工业 AI 大模型等，完成数据采集、数据处理、数据分析、数据呈现的可视化、即时化，充分挖掘、利用数据价值，推动数据赋能智能决策。

预期效果：实现数据的实时监控与报表的按需获取，实现数据动态集中、全局可视、层层可控，提高经营管理效率。

2. 数字化安全环保

技术路径：（1）云端监视及预警技术：通过安全生产预警系统实现“日常监管、提前预警、事中救援、事后提高”，

包含日常安全管理、隐患排查治理、教育培训、应急救援、事故处理、预警指数报告等安全管理全过程。(2) AI 智能安全行为识别技术：使用人工智能计算机视觉技术对视频图像进行智能分析，充分利用已建的高清网络摄像机，识别出关键目标物，并自动分析、抽取视频源中的有效信息，实现 24 小时不间断的智能值守。(3) 环保智能管控技术：建设环保智能管控系统，对水泥生产现场环境数据进行采集、传输、统计分析与预警，确保环保受控，支撑超低排放一体化管控要求。

预期效果：系统代替传统的人工监控，节省大量人力资源，保障安全生产，大幅提升环保管控水平。

3. 数字化能碳管理

技术路径：(1) 智慧能源管理技术：建立能源管理系统，针对水泥现场的载能介质（煤、水、油、电、汽、气），采用自动化、信息化技术和集中管理模式，对能源系统的生产、输配和消耗环节实施集中扁平化的动态监控和数字化管理。

(2) 双碳平台：实现产品全生命周期碳足迹核算监控、碳管理，以及减碳控碳策略制定。

预期效果：改进和优化能源利用效率，实现系统性节能降耗，碳排放浓度及总量得到有效控制。

（四）数字化生产

1. 原料制备数字化技术

技术路径：（1）行车无人值守技术：利用行车无人值守系统实现移料平料、卸料全过程自动化。（2）堆场三维建模技术：利用雷达扫描料堆模型，实时计算堆料质量，建立堆场三维模型，实现料堆数字化，指导矿山开采及后续配料。（3）堆取料机智能控制技术：对堆料机及取料机工作状态及数据信息的远程监测和控制，实现实时监控、智能调度、三维建模等，实现堆场内物料智能堆取。（4）生料智能配料技术：根据设定的控制目标值、出磨生料荧光检测结果、石灰石和原煤堆场三维堆场取料面实时数据，结合 DCS 各配料秤下料量，通过算法自动计算优化配比，自动写入 DCS 实现配比智能调整，替代人工进行生料配料。（5）原料粉磨智能优化控制技术：采集生料粉磨系统主机电流、磨机差压、出磨生料细度等生产过程及质量数据，结合智能算法，构建生产控制模型，对生产过程进行实时分析计算，实现喂料、选粉机、研磨压力、阀门等操作参数智能控制与自适应优化调整。

预期效果：降低人工巡检劳动量，全天综合作业效率大幅提升，系统能耗和维护成本降低；提高石灰石控制指标的精确度，实现对复杂矿山指标的极限控制；生料工序电耗明显降低，效率大幅提升，生料率值合格率提升 15%以上。

2. 烧成数字化技术

技术路径: (1) 回转窑专家优化控制系统: 采用先进过程控制 APC+大数据 AI 算法协同控制, 部署 AI 算法矩阵, 对生产过程实时分析, 实现窑喂料、风机转速、窑转速、窑头煤等操作参数自动控制, 在保证熟料质量合格、系统稳定运行的情况下, 实现自设定、自寻优。(2) 热生料分解率在线检测技术: 通过高温取样器对热生料样品实现自动取样、冷却、称量、灼烧、计算, 实现热生料分解率的在线检测。(3) 窑头看火视频实时温度识别技术: 基于图像识别及工艺机理构建 AI 算法模型, 实现窑头看火视频实时温度识别, 精准判断烧成带温度变化趋势, 输出烧成带温度及飞砂识别, 实现窑系统智能控制。

预期效果: 减少员工劳动强度, 降低安全风险, 生产效率与产品质量可明显提升。

3. 水泥制备数字化技术

技术路径: (1) 水泥烧失量在线检测技术: 配置烧失量检测设备对出磨水泥样品自动称量、灼烧, 实现烧失量的在线检测。(2) 水泥磨专家优化控制技术: 采集水泥磨系统稳流仓仓重、辊压机循环斗提电流、主机电流、细度、比表等生产过程及质量数据, 通过智能控制算法及模型构建, 对生产过程进行实时分析计算与智能调整。(3) 水泥智能配料技术: 根据设定 SO_3 和 CaO 控制目标值及出磨水泥荧光检测结果,

结合 DCS 各配料秤下料量，通过算法计算优化配比，实现配比自适应优化调整。（4）水泥粉磨在线粒度检测技术：通过在线激光粒度分析系统，将传统化验室人工取样检测的离散质量数据，转变为在线连续数据，实现水泥粉磨生产线控制水平的提升，可进一步与 APC 系统配合部署，将低频率大幅度的人工操作，转变为高频率小幅度的自动调整。

预期效果：提升检测频次，减少员工劳动强度，提高产品质量的稳定性。

4. 水泥包装储存数字化技术

技术路径：（1）水泥智能包装技术：包装系统集成机器人码垛系统、袋重控制系统、自动插袋及高精度包装系统及收尘系统等，实现袋装水泥包装智能化。（2）出厂水泥全自动存取样技术：全自动存取样系统与智能运维系统、物流系统对接，对样品进行过筛、缩分、封存，实现样品信息确认、防错、溯源的智能化。

预期效果：可解决水泥发运环节用工难、安全风险大及职业健康等问题，实现出厂水泥无人化管理和产品质量追溯的标准化管埋。

5. 物流运输数字化技术

技术路径：（1）智慧物流管理技术：构建智慧物流平台，连接货主、个体司机，将运输监控、调度运营、对账结算等货物运输全链条有机整合，优化配置物流资源，降低物流成

本并提供管理运输业务。(2)进出厂物流无人值守技术:打造原料采购、产成品销售及厂内物流的统一智能管控平台,实现在无人干预的情况下完成客商平台自助下单、自动排队、门禁出入厂控制,地磅无人值守称重、袋装装车控制、散装装车控制、车辆离厂全过程的无人值守。(3)袋装水泥智能发运技术:将插袋机与装车机器人采用通讯方式连接,实现与包机联动,自动调整包装数量和包机转速,达到最高装车效率,实现从客户网上订单、派车、办票、装车、结算等全过程智能化。(4)散装水泥智能发运技术:根据车型大小和额定载重量自动控制装车量,实时显示装车状态,可减少过磅时间,提高装车速度,同时避免超载,保障运输安全,有助于管理人员进行远程监控与控制。

预期效果:实现产供销业务的集成管理,从包装、插袋、机器人装车到发运的全流程智能化管控,保障装车精确,防止产品错发,减少复核车辆,提高物流效率。

6. 设备管理数字化技术

技术路径:(1)设备全生命周期管理技术:采用设备管理系统,集成在线监测、点巡检管理、润滑管理、运行维护、视频监控、固定资产、设备档案、管理报表、知识库等功能,实现专业管理过程无纸化,优化设备管理线上模式。(2)设备预测性维护技术:实时采集关键设备振动温度数据并进行频谱分析智能诊断及后台专家诊断,对设备故障隐患进行早

期预警，预测劣化趋势，指导现场制定相关检维修策略。(3) 设备智能巡检运维技术：智能巡检通过平台集成视频系统、DCS 数据、现场测温测振等数据，巡检人员在大屏前即可执行常规巡检。同时，智能润滑管理系统基于设备真实的运行时间来计算润滑周期，做到精准润滑，防止因为设备润滑不及时、不正确而减少设备使用寿命。

预期效果：实现设备人机巡检的有效互补，避免监控盲点，减少常规巡检造成的人力资源浪费，利用系统对数据进行客观的统计、分析，提供迅速、准确、科学的依据。

7. 质量管理数字化技术

技术路径：(1) 全流程智能质量管理技术：建设质量管理平台，将质量管理知识、方法和经验模型化、平台化，深度挖掘质量数据价值，实现从原燃料进厂、生产过程、成品出厂全过程的基于大数据的质量分析、控制与改进，汇集质量、物流、销售以及运输等信息，实现质量信息、物流信息、销售信息的集成统一。(2) 全自动化实验室：实现生料、熟料、水泥、煤粉样品取样、送样、制样、检测、配料、留样等全流程无人化和智能化。(3) 熟料游离钙在线检测技术：应用全自动游离氧化钙测量设备，实现熟料自动取样、送样、自动检测（包括自动加药、自动萃取、自动滴定等）、自动生成检测结果、数据自动上传，检测数据传输给 DCS 系统，用于烧成系统工艺参数动态优化控制。(4) 生料在线粒度检测技术：

出磨生料配套在线激光粒度仪实时检测细度，检测结果自动采集到质量管理系统，参与过程质量控制及密磨智能控制。

预期效果：过程产品实验频次提升 100%，过程关键质量指标合格率提升 15%，人员用工优化率达 40%。

（五）数字化供应链

技术路径：（1）物料平衡系统：采集包含原燃材料和主要产品（包含中间产品）的进厂、存储、使用的过程数据，通过物料平衡系统建立工序产品计算模型，使用动态平衡算法平衡水泥生产过程中物料关系，实现库存自动盘点与智能平衡。（2）供应链协同平台：包括合同签订、信息管理、质量管理、物流发运等功能，为上游供应商、下游客户及企业自身业务人员提供供应链综合信息服务，实现信息共享和业务协同，提高供应链数字化水平和管理效率。（3）电商平台：通过建立电商平台，包含线上支付、订单管理和售后服务等功能，简化交易流程，提高交易效率，结合大数据分析技术和智能营销工具，帮助企业优化销售策略、提升市场竞争力。

预期效果：实现订单、运输、库存、生产进度等数据互通共享，保证最优库存和即时供货，降低企业生产和运营成本，实现供应链的全过程管理和上下游协同。

七、水泥企业数字化转型技术改造提升建议

本指南基于试点企业调研分析提出数字化转型技术方

案，各水泥企业可根据其管理方式的不同、数字化水平的差异进行个性化的选择，以达到数字化转型的目标。指南中列举的数字化转型技术方案仅为基础建议方案，水泥企业在实际应用中可根据具体情况选择使用。

（一）不同管理模式企业数字化转型技术改造建议

1. “区域管理+工厂生产”模式

由于水泥区域销售的特殊性，大型集团企业往往配备区域销售公司负责区域内所属水泥企业的管理运营和供应销售，水泥企业则只负责生产管控。对于此类管理模式，区域公司数字化转型应侧重于深化数据应用、提升管理数字化水平，水泥生产企业则应注重主要工艺环节的数字化技术改造与生产智能化控制。

2. 管理生产于一体模式

对于管理、生产于一体的企业，企业可基于不同的数字化水平，选择适宜的技术措施。

（二）不同数字化水平企业数字化转型技术改造建议

按照企业数字化转型能力的不同，分为一级、二级、三级，对于一级企业，其数字化转型尚处起步阶段，其数字化技术改造重点在于数字化基础的夯实、重点场景的数字化赋能；对于二级企业，已经具备了一定的数字化基础，其数字化技术改造重点在于全业务流程数字化管理的畅通和先进数字化技术的应用；对于三级企业，此类企业一般已建立了

智能工厂、实现了全业务流程的数字化，其数字化技术改造重点则在于新一代信息技术的多场景深化赋能、引领性数字化技术难点突破和模式创新。

表 2 不同数字化水平企业采取的技术措施

序号	技术名称		一级	二级	三级	
1	数字化基础	网络与物联感知基础	✓	✓	✓	
2		数据与算力基础	✓	✓	✓	
3		工业互联网平台基础		✓	✓	
4	数字化研发	高仿真三维建模技术			✓	
5		三维工艺流程组态技术			✓	
6	数字化运营	数字化运营管控	全成本分析管控技术		✓	✓
7			业财一体化管理技术	✓	✓	✓
8			智能决策技术		✓	✓
9			数据管理技术			✓
10		数字化安全环保	云端监视及预警技术		✓	✓
11			AI 智能安全行为识别技术	✓	✓	✓

12			环保智能管控技术	✓	✓	✓	
13		数字化能碳管理	智慧能源管理技术	✓	✓	✓	
14			双碳平台			✓	
15	数字化生产	原料制备数字化	行车无人值守技术	✓	✓	✓	
16				堆场三维建模技术		✓	✓
17				堆取料机智能控制技术	✓	✓	✓
18				生料智能配料技术	✓	✓	✓
19				原料粉磨智能优化控制技术	✓	✓	✓
20		烧成数字化	回转窑专家优化控制系统	✓	✓	✓	
21				热生料分解率在线检测技术	✓	✓	✓
22				窑头看火视频实时温度识别技术	✓	✓	✓
23			水泥制备数字化	水泥烧失量在线检测技术	✓	✓	✓

24			水泥磨专家优化控制技术	✓	✓	✓
25			水泥智能配料技术	✓	✓	✓
26			水泥粉磨在线粒度检测技术	✓	✓	✓
27		包装储存数字化	水泥智能包装技术	✓	✓	✓
28			出厂水泥全自动存取样技术		✓	✓
29		物流运输数字化	智慧物流管理技术			✓
30			进出厂物流无人值守技术	✓	✓	✓
31			袋装水泥智能发运技术	✓	✓	✓
32			散装水泥智能发运技术	✓	✓	✓
33		设备管理数字化	设备全生命周期管理技术		✓	✓
34			设备预测性维护技术		✓	✓
35			设备智能巡检运维技术	✓	✓	✓
36		质量管理数字化	全流程智能质量管理技术		✓	✓

37			全自动化实验室		✓	✓
38			熟料游离钙在线检测技术	✓	✓	✓
39			生料在线粒度检测技术	✓	✓	✓
40	数字化供应链		物料平衡系统		✓	✓
41			供应链协同平台			✓
42			电商平台			✓

八、未来水泥企业数字化转型展望

（一）打造行业 AI 大模型，推动产业变革

水泥行业大型企业联合高等院校、科研院所、行业协会等相关单位合力开展面向水泥生产运营、质量、装备、安全、财务等领域的具备自学习、自感知、自认知、自决策的 AI 大模型，并推动 AI 大模型在水泥生产工艺参数寻优、设备智能维护诊断、质量预测优化、资源调度与产能匹配等场景的示范应用。

（二）加快数字孪生应用，驱动管理变革

通过数据实时采集和工厂数据建模等方式，在虚拟场景中完成物理场景映射，全面、形象地展示水泥厂各区域建设、运行情况、安全配备及动态环境及各生产环节全流程作业过程。随着数字孪生技术的深入发展，逐步实现虚拟工厂与物理工厂的同步联动，构建虚实结合、知识驱动、动态优化、安全高效的生产制造体系和管理体系。

（三）建设“零员工”工厂，推进制造变革

水泥企业通过建立高度自动化的生产线、高效的运行管理体系、智能的分析决策体系，综合应用数字化、自动化、网络化控制技术，研究应用能够自学习、自适应、自寻优的智能化生产控制系统，落地从原料端到产品端的智能闭环管理，实现从原料进厂到产品出厂全过程运行自动化、全层级

协作数字化、全维度决策智能化，满足生产一线“零员工”标准。

（四）延伸数字化服务链条，实现模式变革

由头部水泥企业先行先试，探索基于产品和需求的增值服务，由传统制造业向“制造+服务”转型，形成差异化市场服务竞争力，大型企业带动中小企业协同发展，推动行业整体数字化水平提升。构建面向互联网服务的水泥供应链资源协同云平台，将高效、便捷、智能的服务辐射至产供销财全供应链，实现全新商业模式和运营生态变革。