



建筑材料工业信息中心
Information Center of Building Materials Industry, P.R.C



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

建材行业5G工厂建设 实施指南

牵头编写单位：建筑材料工业信息中心
中国信息通信研究院

工业互联网产业联盟（AII）

2023年12月



建材行业5G工厂建设实施指南



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟（AII）

2023 年 12 月

声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他文献的内容除外），并受法律保护。

如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：aai@caict.ac.cn

前言

近年来，在工信部《“5G+工业互联网”512工程推进方案》、《建材工业智能制造数字转型行动计划(2021-2023年)》等政策文件的指导下，建材企业积极探索5G+工业互联网的创新应用。经过一段时间的探索，许多大中型建材企业在工厂内建设部署了5G网络，通过整合多个工业、业务系统实现了从ERP订单管理到原材料运输车进工厂、生产制造、AGV自动取货等全流程的连接，同时通过智能生产看板实时显示建材产量、产能、出入库信息等，从而实现生产可视化、自动化、智能化。在工信部发布的《2023年5G工厂名录》中，有14个非金属矿物制品业项目入选，建材行业5G工厂建设已由起步阶段迈入深耕阶段。在近期工信部发布的《建材行业数字化转型实施指南》中指出推动建材行业5G工厂分类分级建设，培育建材5G标杆工厂。因此，5G工厂建设将作为建材行业未来3年数字化转型的重点任务之一，与人工智能、数字孪生等其他新一代信息技术共同结合成为建材行业数字化转型的有力推手。

本指南在工信部《5G全连接工厂建设指南》的指引下，聚焦建材行业，在深入研究建材行业数字化转型过程中的痛点问题、5G工厂在建材智能化生产中发挥的作用基础上，提出建材行业5G工厂建设内容和工厂实施建议。本指南明确了建材5G工厂的总体架构、基础设施建设、厂区现场升级等方面的内容，并重点阐述了“5G+工业互联网”在水泥、玻璃、建筑卫生陶瓷等重点细分领域的关键应用，为各建材企业开展5G工厂建设提供指引。

牵头编写单位：

建筑材料工业信息中心

中国信息通信研究院

参与编写单位：

中国建材集团有限公司

中国电信集团有限公司

凯盛科技集团有限公司

唐山冀东水泥股份有限公司

安徽海螺集团有限责任公司

华新水泥股份有限公司

北京邮电大学

深圳艾灵网络有限公司

中国电信股份有限公司广西分公司

蚌埠国显科技有限公司

安徽海螺信息技术工程有限责任公司

中材高新材料股份有限公司

凯盛新能源股份有限公司

北京建筑材料科学研究总院有限公司

瑞昌中建材光电材料有限公司

四川开物信息技术有限公司

山东通发实业有限公司



工业互联网产业联盟公众号

编写组成员（排名不分先后）：

江源、万佳艺、马筱筠、胡雅琴、孙宁彤、曹佩瑶、于青民、黄颖、朱璎、李宗祥、李洪玉、修瑞、唐梓淇、刘林青、贾朝心、杨沛强、崔家玮、辛佳乐、杨小辉、王秋旗、汤峻、喻罡、张永军、俞一帆、丁颖哲，刘旸、王旭、孔祥泉、周靖人、阳阳、顾智宇、王书信、汪阳、余国钊、张平威、房永新、王文财、沈彤、周平焰、张元丰、陈志刚、苏路、张铎

目 录

一、行业 5G 工厂建设的必要性	1
（一）建材行业发展现状	1
（二）建材行业转型发展痛点	3
（三）行业建设 5G 工厂的价值体现	4
二、行业的主要业务环节和需求	6
（一）业务流程	6
（二）主要业务环节及 5G 发展需求	8
三、行业 5G 工厂建设内容	10
（一）总体架构	10
（二）基础设施建设	11
（三）厂区现场升级	35
（四）关键环节应用	39
（五）网络安全防护	61
四、工厂实施建议	62
（一）新工厂	63
（二）现有工厂	64

一、行业 5G 工厂建设的必要性

（一）建材行业发展现状

建筑材料行业是支撑我国国民经济发展的重要基础材料工业。建材行业细分领域门类众多，包含水泥、玻璃、建筑陶瓷、石材、砂石、耐火材料、保温材料、防水材料、高性能纤维及复合材料等多个子行业，支撑了基础设施建设、建筑业和房地产业的快速发展，极大改善了人民居住环境。经过几十年的快速发展，我国建材行业已经形成门类比较齐全、产品基本配套、面向国内国际两个市场的完整工业体系，建材行业在关键技术、市场服务等方面都取得了长足的进步。我国已成为世界上最大的建筑材料生产国和消费国，主要建材产品水泥、平板玻璃、建筑陶瓷、石材和墙体材料产量多年居世界前列。建材企业综合实力持续增强，我国规模以上建材企业数量突破 4 万家，产业结构持续优化。

近年来，在一系列政策和规划的引导下，建筑材料行业正逐步由粗放、高速度发展转向集约、高质量发展，以面对资源环境约束收紧、部分建材产品产能过剩等问题。在此过程中，数字化转型成为越来越多建材企业关注的话题。2020 年，工业和信息化部发布《建材工业智能制造数字转型行动计划（2021-2023 年）》，从信息化生态体系构建、智能制造技术创新、智能制造推广应用三个重点任务为目标，为建材工业数字化指明了方向。在 2021 年工业和信息化部、科技部、自然资源部等三部门联合发布《“十四五”原材料工业发展规划》中提出“加速产业转型数字化”的重

点任务，加快探索原材料工业与“5G+工业互联网”融合发展，打造更多典型应用场景，赋能企业提质降本增效。在2023年8月八部门联合印发的《建材行业稳增长工作方案》中也提出推进智能化转型工作举措，推动建材行业工业互联网应用，鼓励有条件地方建立建材行业工业互联网平台和大数据中心，支持数字化管理、网络化协同、服务化延伸、智能化生产等新模式发展。

在工业4.0的大背景下，建材工业应用智能制造技术，积极探索实践建材工业生产经营管理全过程与现代信息技术、数字技术的结合和应用，努力促进全产业链、供应链、管理链与信息技术、网络技术、自动检测技术、自动控制技术、智能制造技术的深度融合，建材工业两化融合发展总体水平指数由2018年的47提高到2021年的54.5，逐步迈向转方式、调结构、增动力的高质量发展阶段。

据《建材工业智能制造数字化转型白皮书》统计，已有19.5%的建材企业构建了以数字化转型作为企业发展战略的核心内容，数字化已经成为赋能建材新业务、加速行业创新发展的重要助推力；行业数字化、智能化发展战略在一定程度上已经实现了落地，45%的建材企业制定了明确的年度执行计划。搬运机器人、码垛机器人、智能生产线等智能装备已广泛应用于数字化水平较高的大型建材企业，逐步实现关键岗位“机器换人”和“全自动生产”，生产设备数字化率逐年上升，目前已达到52.1%。随着通信网络技术的创新发展，行业工业互联网网络基础设施逐步完善。建材行

业建设完成了工业互联网标识解析二级节点，基于标识的供应链协同、重要产品溯源认证、协同物流运输等创新应用为行业工业互联网的发展带来了新助力。

在政策引导、市场驱动下，建材行业企业积极开展 5G 技术的应用探索。2021 年 11 月，在工业和信息化部发布的《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践（第二批）》中，建材行业被列入 5G 重点行业实践。2023 年 11 月，在工业和信息化部发布的《2023 年 5G 工厂名录》中，共列入 300 个 5G 工厂项目，其中全椒海螺 5G 工厂、金隅振兴 5G 数字化水泥生产工厂等 14 个非金属矿物制品业项目入选。

（二）建材行业转型发展痛点

企业信息化水平参差不齐，行业整体数字化水平有待进一步提升。建材行业细分领域门类众多，包含水泥、玻璃、建筑陶瓷、石材、砂石、耐火材料、保温材料、防水材料、高性能纤维及复合材料等多个子行业，由于不同子行业的工艺路线、生产模式均不相同，且发展阶段和程度不均衡，行业间差异较大，因此对数字化转型的需求也存在很大的差异，即使同一行业不同企业的需求也不尽相同。目前，针对建材行业的数字化转型解决方案灵活度不高，难以批量在建材企业内复制推广。此外，建材行业工业互联网平台的服务能力有待进一步加强，平台对工业现场设备、仪器仪表等的连接能力有待进一步提高。

行业资源约束不断加大，节能减排任务繁重。建材行业也是

工业能源消耗和碳排放的重点领域，是我国碳减排任务最重的行业之一。《中国建筑能耗与碳排放研究报告（2021）》显示，2019年仅在建材生产阶段，碳排放量就达到了27.7亿吨二氧化碳，能耗量达到11.1亿吨标准煤，分别占全国总量比重的28.0%和22.8%。

《建材行业碳达峰实施方案》中更是明确提出“加快推进建材行业数字化转型，利用新一代信息技术促进行业节能降碳”，以“数字化”实现“低碳化”成为企业适应国家层面、行业层面战略发展的关键抓手。如何利用新一代信息技术助力建材行业实现节能降碳目标是目前许多建材企业关注和思考的问题。

产品个性化定制需求增多，传统生产模式难以响应市场需求。随着生活水平的不断提升，美观、绿色、安全的建材产品越来越受到市场青睐，消费观念和消费习惯的改变也带来了越来越多的个性化定制需求，多元化的服务需求对行业提出了更高的挑战。一直以来，传统建材制造产业占整个建材行业的销售收入一般都稳定在70%-80%。建材服务业的发展还属于起步阶段，从认识到业态模式和发展途径总体上都还跟不上时代进步和发展的需要，也影响着建材行业新的发展。因此，建材行业需要借助数字化手段寻找规模化生产与个性化需求之间的平衡点，以适应市场需求、实现可持续发展。

（三）行业建设5G工厂的价值体现

5G工厂是充分利用以5G为代表的新一代信息技术，基于工业互联网新型基础设施，新建或改造产线、车间、工厂等生产现场，

形成生产单元广泛连接、IT/OT 深度融合、数据要素充分利用、创新应用高效赋能的先进工厂。

5G 工厂将为建材企业实现生产资源泛在连接和远程管控，建设智能工厂奠定网络基础。结合 5G 技术优势创新建设的各类创新应用可以提升企业的生产效率、降低成本、提高安全保障，推动建材行业实现智能生产、绿色生产、安全生产。5G 工厂的建设和发展将为建材行业数字化转型和高质量发展提供关键支撑。

1. 激发企业智能制造应用新模式

5G 工厂综合运用 5G 网络高可靠、低时延、大带宽等能力，通过 5G 网络覆盖所有生产、管理、服务等场景，在“联网”方面充分激活沉淀在工业各环节、各设备的工业数据，深度契合 ERP、MES 等应用，实现设备、产线、管理等链条数据的实时采集以及企业信息系统数据有效流通，打通企业数据流、业务流、管理流，为实现企业节能降耗、效率提升、规模生产、柔性生产、智能仓储等多项智能制造场景。

2. 为行业数字化转型带来新动能

数字化转型已经成为建材行业生存和发展的必然要求。5G 工厂建设和发展将为建材行业数字化转型提供关键支撑。通过 5G 工厂建设，为行业企业解决网络互通、资源共享、IT/OT 深度融合等问题，在“建网”方面推动企业办公、生产管理、监控预警、工业控制等网络互通。5G 工厂作为建材数字化转型的先导者，不仅可以推动网络建设方面的快速发展，更是推动行业数字化转型的

核心驱动力。

3. 赋能产业高质量发展

以包括 5G 工厂在内的智能工厂建设为载体，与建材行业产业深度融合，将促进智能连接、云网融合贯穿到各行各业生产环节，加速数字化、网络化、智能化转型，充分释放数字对行业发展的放大、叠加、倍增作用。与此同时，通过将 5G 等新兴技术与工业互联网融合发展，将赋能建材行业焕发高质量发展蓬勃生机，推动行业高质量发展迈向新征程。

二、行业的主要业务环节和需求

（一）业务流程

建材产品的使用对象一般可以分为两大类：一类是面向基础设施、住宅建设等领域的传统工程材料，如水泥、玻璃、混凝土、玻璃纤维、墙体材料等，工程类材料的标准化程度高，不同企业生产的产品最重要的目标是确保满足使用要求；另一类是直接面向消费者的终端家装建材，如建筑卫生陶瓷、防水材料、门窗、涂料、石膏板等，家装建材则更多地突出差异化功能，在满足消费者基本使用需求的前提下，也需要更多地考虑产品的环保、节能、安全等绿色属性。

建材行业业务流程主要包括研发创新、销售推广、原材料采购、生产制造、物流运输、库存管理等。

在研发创新环节，企业的产品研发团队根据建筑装修市场的

需求，研发设计新型建材产品，开拓销售服务市场。同时，为了满足行业节能减排需求，寻找新型材料研发绿色建材产品，优化产品生产工艺流程，减少生产过程中的能源消耗和污染物排放等。

在销售推广环节，企业的销售人员开展建材市场的调研和竞争分析，对接客户销售产品。在与客户确定销售订单后，与企业工厂端进行对接，通过线下或管理系统等方式下达生产需求。

在原材料采购环节，企业向供应商采购生产建材产品需要的石灰石、黏土、石膏、石英砂等主要原材料，用于生产建材产品。建材原材料的采购计划通常需要参考企业实际生产需求和库存情况，才能保证产品正常生产的前提下尽量减少库存占用。

在生产制造环节，企业根据销售订单或备货需求单等进行建材产品的生产制造。按照产品生产流程，对原材料进行混合、调配、煅烧等，采用专业生产工艺和自动化装备生产建材产品。此环节还包括对产品的质量控制和检验。

在仓储管理环节，企业主要对建材产品和原材料进行合理的存储，通过定时盘库，结合仓储管理系统对工厂仓库原材料、半成品、成品进行出入库管理，跟踪库存，及时补充生产所需的原材料、辅料等。

在物流运输环节，企业按照客户要求将建材产品运输到施工现场或产品经销商仓库。建筑材料体量较大，如混凝土等建材产品通常需要特殊的运输车辆进行运输。

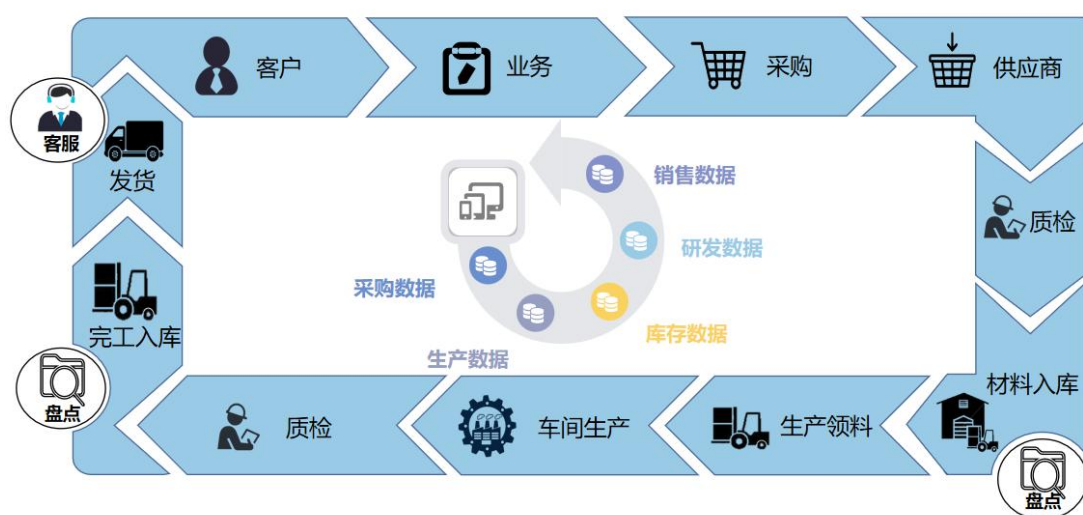


图 1 建材行业主要业务流程

（二）主要业务环节及 5G 发展需求

在建材行业数字化转型升级的过程中，在各业务环节都做了信息化、智能化的改造，基础网络设施进一步夯实。利用工业互联网等新一代信息技术，在建材研发、生产、销售、运输等各业务环节实现了提质增效。随着 5G、工业互联网等新基建的加速落地，全球范围内的工业无线网络快速增长，企业对“5G + 工业互联网”的认知也逐步明晰。建材行业主要业务环节应用和发展 5G 网络的需求有以下几点：

1. 生产运行环节

在建材行业数字化转型发展过程中，工业软件整体渗透率、智能生产装备的普及率逐渐提高。建材企业正逐步探索全流程自动化、无人化的生产，5G 可为智能生产过程中需要用到的智能机器臂、智能挖钻机等设备提供稳定的网络支撑，支持海量生产数

据的采集传输和交换、设备间通信、生产指令的精准下达等。在 5G 网络环境下，建设生产过程监控、生产资源远程调度、机器视觉质检、无人智能巡检等创新应用，推动生产效率、生产质量的提升。

2. 检验监测环节

建材产品生产过程中的实时监测可以辅助企业生产运行人员发现和定位生产过程中的问题，优化生产过程。当前，工业摄像头、传感器等设备已逐渐在建材工厂内普及，5G 网络可以连接不同种类的监测终端，传输音频、视频等生产现场数据，从而实现生产现场远程监测。此外，结合人工智能等技术可建设机器视觉质检应用，提高产品检测的效率，精准识别存在质量问题的产品，推动质量控制能力的提升。

3. 仓储物流环节

由于建材产品普遍体量较大，在产品仓储及运输过程中往往需要自动化装备进行辅助。传统有线叉车、运输车常常受到线路的制约，无法灵活调整运输线路。此外，部分高温、高湿环境造成了网络不稳定，时常造成运输中断。在工厂内建设应用 5G 网络可以有效地帮助企业解决物流效率低、仓储管理成本高等痛点问题。物流运输设备可在 5G 网络下高效通信，结合物流调度系统、仓储管理系统等实现厂内物流效率、仓储管理效率的提升。

4. 运营管理环节

当前，能耗管控是多数建材企业重视的问题，5G 网络可以将

实时采集的企业用电、水、燃气等各类能源消耗数据传输汇总至能源管理平台，通过大数据分析、机器学习等对生产过程能源使用情况进行汇总分析，实现生产能耗的实时监测。此外，通过 5G 网络可建设泛在感知的工厂，对产品生产过程中各环节的数据进行汇总分析，结合区块链、标识等技术，实现产品关键要素和生产过程中的追溯，提升管理运营效率。

三、行业 5G 工厂建设内容

（一）总体架构

建材行业 5G 工厂建设框架如图所示。建议建材企业综合考虑 5G 等新一代信息技术演进，结合自身发展需求和建设能力，选择在产线、车间、工厂等不同区域实施，从基础设施建设、厂区现场升级、关键环节应用、网络安全防护等四个方面进行系统规划，分阶段建设实施。



图 2 建材 5G 工厂架构图

基础设施建设主要包含 5G 网络建设、工业网络互通、边缘计算部署、业务系统建设等。

厂区现场升级主要包含现场装备网络化改造、数据采集设备升级、IT-OT 应用融合化部署、生产服务智能化升级等。

关键环节应用主要从生产运行、检验监测、仓储物流和运营管理四个环节出发，提出设备远程操控、无人智能巡检、生产能效管控等多个应用场景。企业可根据自身发展需求，选择建设 5G 应用场景，利用 5G 网络高速传输的特性，实现实时高效交互，建设泛在连接的智能工厂。

网络安全防护主要包含安全技术、安全管理、安全运行三大体系的建设，为 5G 工厂提供安全保障。

建材行业积极响应国家智能制造转型政策，利用工业互联网等新一代信息技术促进产业数字化转型升级。目前行业内网络基础能力逐步提升，标识解析体系逐渐完善，行业内已建设了一批工业互联网平台支撑行业智能化发展。在建材企业建设 5G 工厂的过程中，可与各平台形成对接以获取更多资源，更好的发挥 5G 网络作用，推动数字化转型升级。

（二）基础设施建设

建材 5G 工厂基础设施由工厂级系统及车间级系统构成。工厂级系统部署在工厂 IT 机房中的数据中心内，用于支撑工厂业务管理系统，工厂网络管理系统及企业办公设备运行，车间级系统部署在车间中的边缘计算平台上，用于支撑车间业务管理系统，车

间网络管理系统及车间生产设备运行。工厂业务管理系统主要包括 MES 及相关数据库，用于对工厂内的各条产线的生产过程进行控制。车间业务管理系统主要包括 DCS，各类工业物联网应用及相关数据库，用于对产线设备进行监控。工厂级系统通过工厂内网与车间级系统相连。

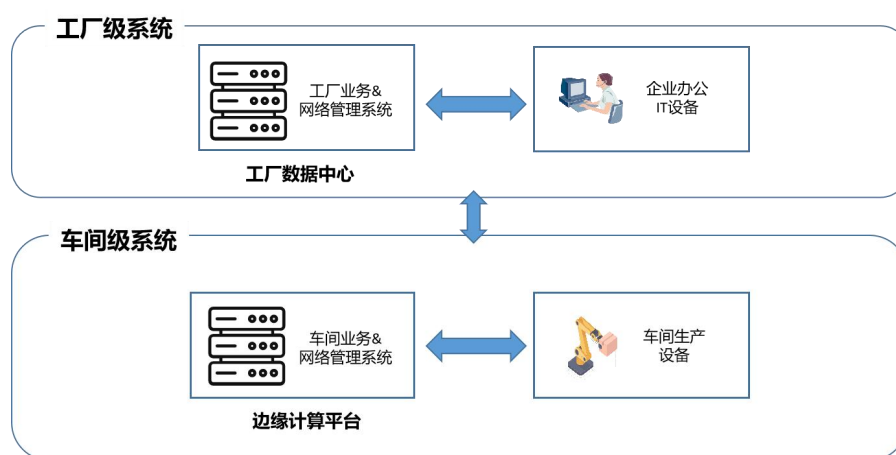


图 3 建材 5G 工厂业务系统架构

1. 5G 网络建设

(1) 网络部署拓扑图

A. 园区

工厂园区 5G 网络部署主要有三种模式：一是直接使用运营商的公众网络，通过网络切片等技术保证行业用户的网络资源。二是在行业用户机房部署“边缘 UPF+MEC 平台”保证用户业数据不出园区，满足低时延应用部署需求。三是行业用户建设 5G 专网，专网专用，现阶段我国尚不具备相关条件。综合考虑行业应用需求，大型企业普遍选择部署“边缘 UPF+MEC 平台”方式，实现生

产设备/设施、仪表仪器、传感器、控制系统、管理系统、工业应用系统等关键要素的泛在互联互通，实现生产区域网络全覆盖，有效提升精准管理能力。

基于 5G 网络，在园区内部机房部署下沉客户园区的“边缘 UPF+MEC 平台”，平台上可部署业务应用以及其他第三方应用。同时，通过“边缘 UPF+MEC 平台”的能力开放接口可将 5G 网络定位等能力以及移动业务能力开放给其他第三方应用，以便第三方按照各自的需求设计定制化的网络服务。“边缘 UPF+MEC 平台”支持本地分流能力，对 5G 网络和固定网络中符合分流规则的本地业务数据分流到园区内部局域网络进行处理，保证业务数据不出园区，有效提升客户业务体验。

以“边缘 UPF+MEC 平台”为核心的网络架构能够高效地实现数据、资源、应用、安全、运维等多方面的云边协同。如图所示，核心网用户面网元（UPF）为用户私有化部署，无线基站、核心网控制面网元根据客户需求灵活部署，为水泥行业用户提供部分物理独享的 5G 专用网络，满足用户大宽带、低延时、数据不出园区的需求。

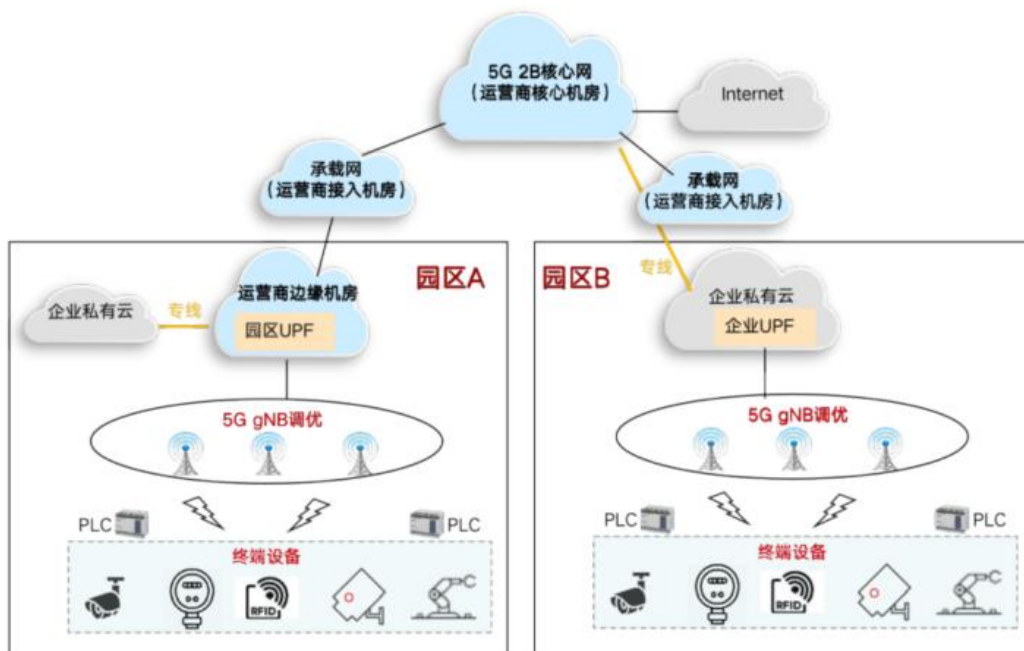


图4 基于 MEC 的混合专网部署原理

5G 工厂的建设主要有两个优势：

➤ 园区数据不出区

面向 5G SA 的 MEC 解决方案部署架构可分为中心-节点两个层次。其中边缘 MEC 节点可为产业园区级，也可为某区县地市级。N4 为 UPF 和 SMF 之间的接口，N6 为 UPF 和 APP 之间的接口，N9 为 UPF 和 UPF 之间的接口。在边缘 MEC 节点 1 中，UPF ULCL/BP 提供上行分流器功能，部署在边缘侧，可根据业务类型选择是否提供公网出口，MEP 对 APP 的集成根据需求可选。在边缘 MEC 节点 2 中，UPF Anchor 等同于 4G 的 DGW，作为用户面网关提供用户的 IP 锚点，默认提供公网出口，可以直接访问本地业务、中心 DC 业务和 Internet，UPF ULCL 无法在本地卸载的流量，均可通过 UPF

Anchor 连接到 internet。5G 核心网中心可以只部署控制面，中心部署的 MEP 和对应的 APP 根据业务场景可选。数据统一从 UPF 卸载，无需在中心再部署用户面网关，从而达到园区“园区数据不出厂”的目的，满足了工业企业对数据安全的要求。

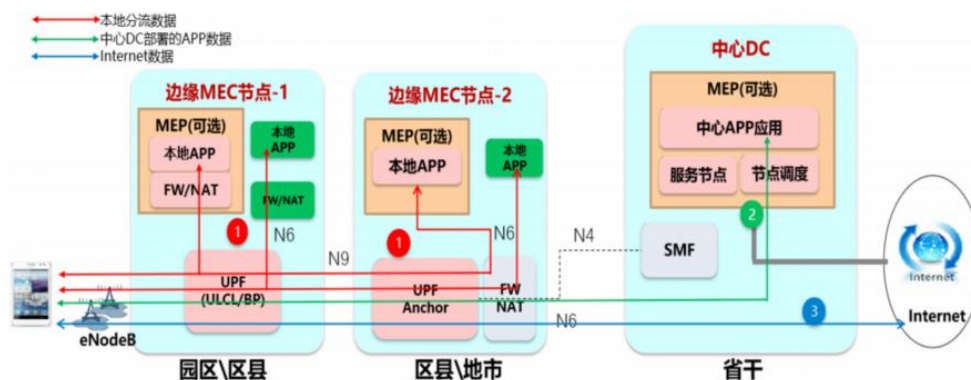


图 5 面向 5G SA 的 MEC 解决方案部署架构

➤ 生产办公一张网

建材企业园区面积大，覆盖矿区、生产、办公多个场景，结合业务需求，可灵活采用多种模式，进行无线覆盖，打造生产办公“一张网”，通过采用混合云、边云协同的架构满足核心业务对于性能、可靠性、安全性的需求。同步满足员工手机终端接入需求。

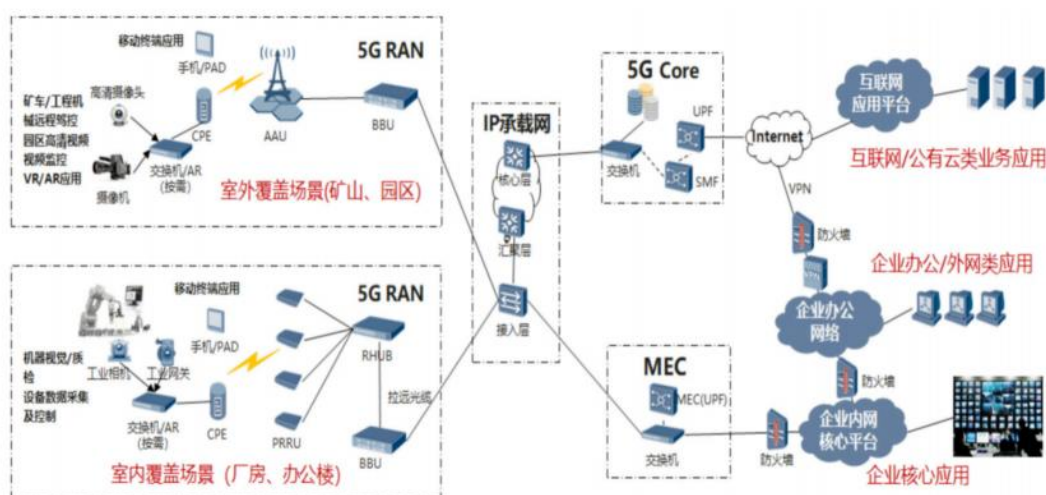


图 6 基于 5G 的生产办公“一张网”

B. 工厂

建材 5G 工厂网络以无线连接及有线连接的混合形态，灵活采用多种模式组合构建。无线连接以室内覆盖为主，室外覆盖为辅，其中室外覆盖主要面向成品堆放区域，工厂车间中的无线连接均通过室内覆盖实现。根据生产设备的连接能力，有线连接可采用工业以太网或现场总线实现设备互联。其中，5G 工业网关应提供工业以太网或者现场总线两种方式，支持不同设备的接入。边缘计算平台及车间生产设备与工厂数据中心及办公网之间通过网络防火墙进行相互隔离，确保各系统的网络安全及数据安全。

5G 网络在工厂内主要有混合专网、虚拟专网、独立专网等三种建设部署方式：

表 1 5G 网络建设部署方式对比

	混合专网	虚拟专网	独立专网
网络隔离性	共享公网控制面及基站，控制面数据出园区，业务数据在本地	共享公网（5GC、基站）数据完全出园区	独享全部网络设施（5GC、基站、传输），数据完全在本地
定制能力	不支持完全定制	不支持完全定制	支持完全定制
商务模式	一次性建设费+流量费	一次性建设费+流量费	商务模式灵活多样，无额外流量费
建设成本	适中	较低	较高

➤ 混合专网

混合专网是将原有在运营商 5G 核心网侧的用户面功能（UPF）和多接入边缘计算（MEC）等功能下沉至企业内，实现工厂数据的本地卸载，达到数据不出工厂园区、支持时延敏感业务的目的。该模式下，工厂和公网用户共享基站和核心网控制面功能，所以 5G 控制面信令会离开工厂园区。该网络部署方式因建设成本适中，可满足业务数据不出企业的要求，是当前较为广泛采用的 5G 网络部署方式。

利用 5G 公网基站为车间内的生产设备提供无线连接，并通过定制 DNN 实现工厂内部生产网络与公网的相互隔离。5G 核心网用户面功能设备（UPF）下沉部署到工厂数据中心内，并通过工厂内网连接车间内的边缘计算平台。5G 核心网控制面（AMF+SMF+PCF+UDM）部署在公网机房内，并通过工厂外网与 UPF 相连。实现该组网方式需满足如下要求：

- 5G 基站应支持满足工厂内网生产网络安全要求的网络隔离。
- 5G 核心网 UPF 应支持满足工厂内网生产网络安全要求的网络隔离。
- 5G 核心网控制面应满足工厂外网网络防火墙安全策略及工厂内网工控防火墙安全策略。
- 5G 基站及 5G 核心网 UPF 应支持满足工厂内网生产网络安全要求的网络管理功能。

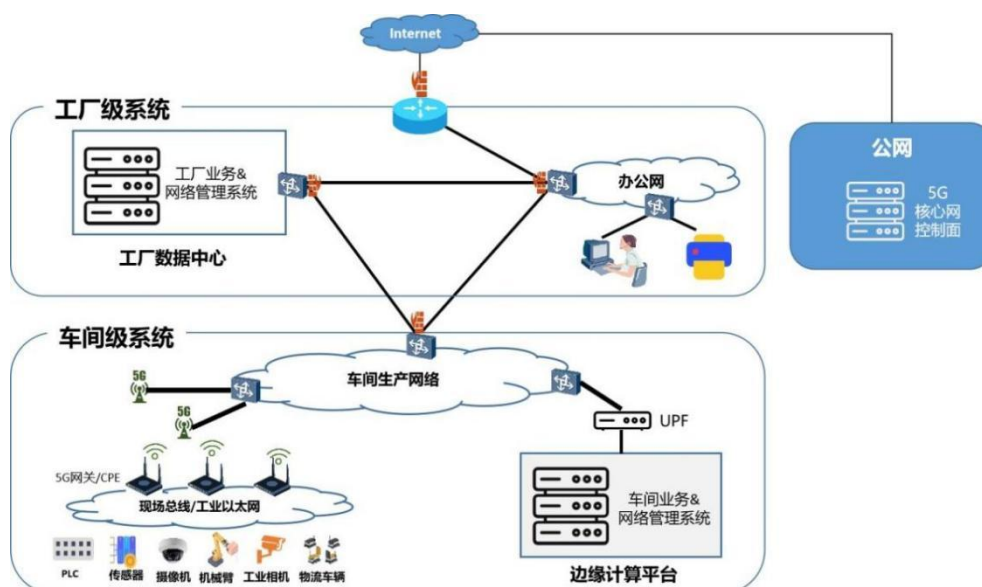


图 7 基于 5G 混合专用网络的建材 5G 工厂网络架构

➤ 虚拟专网

虚拟专网是基于运营商的 5G 公网架构，利用 5G 切片、定制 DNN 等技术，为企业提供网络质量定制化、与其他公众用户业务逻辑隔离的专用通道服务。该模式下，工厂和公网用户共享基站和核心网，5G 设备部署在运营商机房，工厂业务数据和 5G 控制面信

令均会离开工厂园区，适用于没有物理专用要求、成本较为敏感的用户。

利用 5G 公网基站为车间内的生产设备提供无线连接，并通过网络切片实现工厂内部生产网络与公网的相互隔离。车间级系统中的边缘计算平台部署在公网 5G MEC 机房中，并通过公网实现 5G 核心网与工厂级系统相连。实现虚拟专网方式需满足如下要求：

- 5G MEC 机房应提供满足工厂内网生产网络安全要求的独立运行环境，用于部署边缘计算平台。
- 5G 网络切片应支持满足工厂内网生产网络安全要求的网络隔离。
- 5G 核心网应支持满足工厂内网生产网络安全要求的工控防火墙功能。
- 5G 基站及 5G 核心网应支持满足工厂内网生产网络安全要求的网络管理功能。

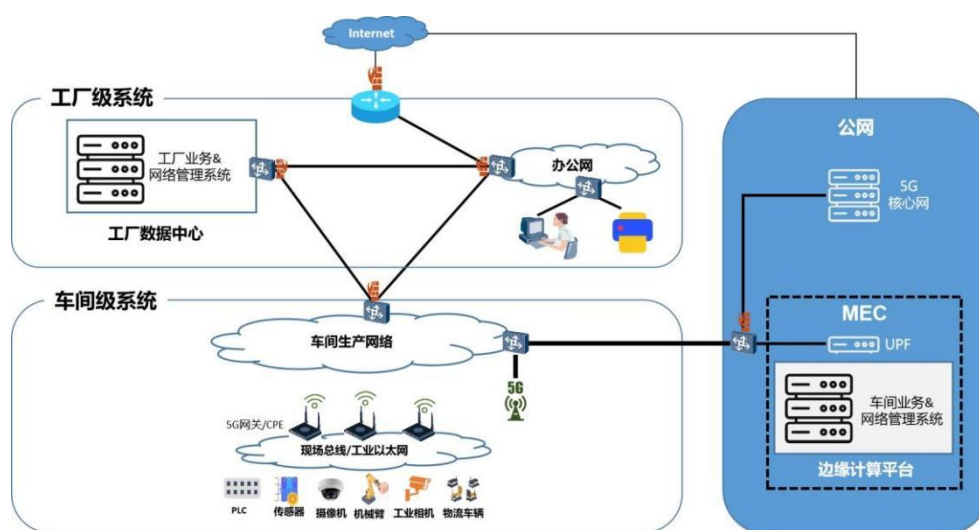


图 8 基于 5G 虚拟专用网络的建材 5G 工厂网络架构

➤ 独立专网

独立专网是企业自建一张物理专用 5G 网络，包括接入网、承载网、核心网等 5G 网络端到端基础设施，与公网隔离，只承载企业业务的专用网络。该网络部署方式可以保障数据完全不出企业、5G 网络安全兼容企业网络安全要求、企业对网络有充分自主管理能力等，但建设成本较高、频谱利用率偏低、产业链成熟度有待完善。通过 5G 本地网络实现安全自主可控、成本自主可控、能力自主可控的工厂内私有网络，逐步成为工业用户的选择。

利用 5G 专用基站为车间内的生产设备提供无线连接，5G 核心网用户面功能设备（UPF）及部分核心网控制面（AMF+SMF+PCF）下沉部署到车间内的边缘计算平台，5G 核心网控制面 UDM 部署到工厂数据中心内，UDM 通过工厂外网与公网机房中的 UDR 相连，用于验证产线联网设备 SIM 卡身份信息。工厂数据中心通过工厂内网连接车间内的边缘计算平台。实现该组网方式需满足如下要求：

- 5G 基站应支持满足工厂内网生产网络安全要求的网络隔离。
- 5G 核心网 UDR 应满足工厂外网网络防火墙安全策略。
- 5G 基站，5G 核心网 UPF 及 5G 核心网控制面（AMF+SMF+PCF）应支持满足工厂内网生产网络安全要求的网络管理功能。

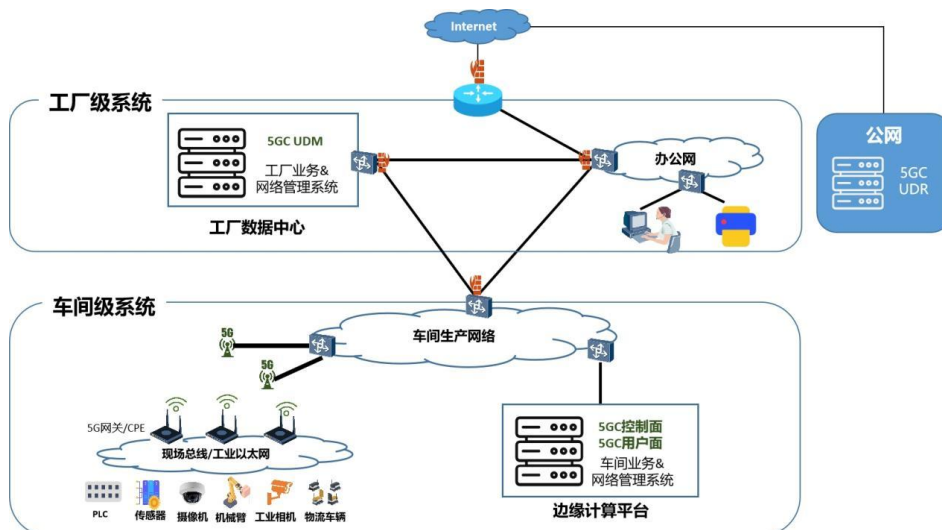


图 9 基于 5G 独立专用网络的建材 5G 工厂网络架构

(2) 能力需求

● 稳时延高可靠

面对生产不停的要求，5G 网络提供确定稳定低时延能力。空口时延的持续降低和优化是整个 5G 网络低时延的关键。结合业务需求，将网络可靠低时延分为不同等级，每一等级贴合不同的网络技术，结合成本差异、技术复杂度，实施难度等各类因素，保障全连接工厂最优化建设。

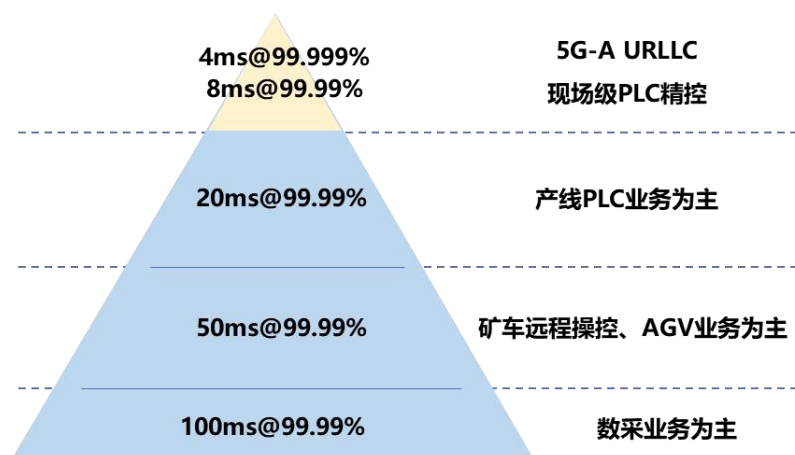


图 10 网络时延可靠性需求

第一档为 100ms@99.99%量级，主要以数据采集业务为主，该业务广泛存在于各类园区和车间，5G 网络经过业务差异化低时延方案即可满足需求。

第二档为 50ms@99.99%量级，主要以矿车远程操控，AGV 业务为主。

第三档为 20ms@99.99%量级，主要以产线 PLC 业务为主。

第四档为 10ms 级以下，可靠性不低于 99.99%。全连接工厂中现场级的 PLC 精控场景需要 8ms 级别的空口低时延，通过 3GPP 新协议新技术，结合 5G-A 能力，实验室可实现 4ms 级别超低时延的验证测试，以满足未来更低时延的场景需求。

● 融合定位

全连接工厂建设中，对于园区人、机、物定位是厂区刚需。矿山等对于人员的安全定位能极大降低出现生产事故、矿难事故时人员死伤率。常规设备、物体位置的位置监控有助于提升工厂的管理健康度。基于 5G 网络自身的定位能力提供服务，依赖于多技术实现不同精度及低功耗能力，实现综合成本最优。

典型定位需求归纳如下：

- 米级定位常用于人员定位管理、叉车定位管理、电子围栏、资产盘点等场景；
- 分米级/厘米级应用于人员或设备的轨迹跟踪等场景。

表 2 典型定位需求

	人员定位	物资定位	业务流程结合定位
内容	人身安全或涉密区域电子围栏报警；人员位置信息分析提升生产效率	海量物资定位资产盘点；叉车调度等	产线上成品和半成品等物资定位；AGV 导航定位
定位精度	1-3m	1-3m	<30cm
终端待机	>1 周	>1 年	3-6 个月

位置精定位需求从场景上分为室外定位和室内定位。室外定位以卫星定位为主,室外 5G 定位主要作为卫星定位的辅助和补充。室内米级定位主要通过 5G 网络自身的定位能力实现,分米/厘米级定位当前主要通过 5G+UWB/蓝牙 AOA 融合定位实现,未来随 5G 毫米波商用,5G 定位逐步具备分米/厘米高精度定位能力。

工业园区对人/机/物的定位需求多样,对成本、精度、功耗提出多样化需求。5G 定位作为增量特性,提供增值功能,依赖于 5G 设备,将通信网络与定位需求有机结合,实现企业的定位、巡检、考勤、导航各样需求。基本组网图如下:

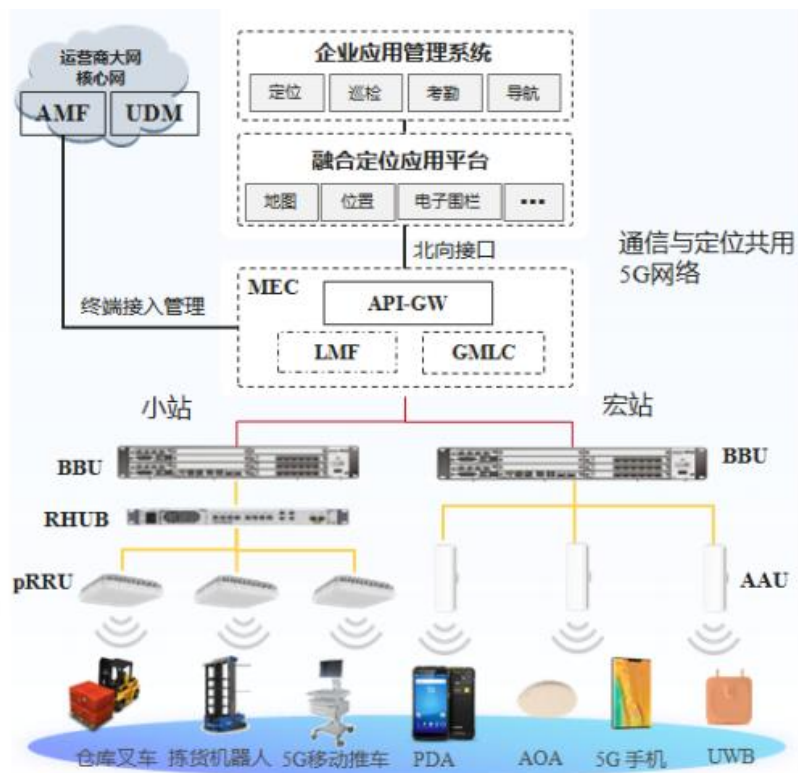


图 11 基本组网图

5G 室分设备结合 UTD0A 定位、指纹定位技术，实现可视路径下 1-3m@90%定位精度；结合指纹定位及场强定位技术，实现非可视路径下 3-7 米@90%定位精度。宏站设备依赖于 UTD0A+AOA 多种融合定位方式，可实现 3 米@90%精度（验证），结合北斗等卫星定位技术，定位精度进一步提升。

覆盖区内无线可通率，应满足无线终端在无线覆盖区内 90%的位置，99%的时间可接入网络。

- 信号稳定性、传输效率要求
 - 数据业务块差错率，应不大于 10%。
 - RRC 连接成功率，应不低于 95%。

➤ 多个频段协同组网时，可通过合理的异频组网策略和方案实现连续覆盖。

➤ 在设计目标覆盖区域内，参考信号电平（SS-RSRP）不小于-100dbm。

● 运维要求

工业用户可通过 5G+工业互联网方案供应商建设维护工业 5G 专网。供应商负责工业 5G 专网技术问题决策和厂房、产线、设备、机房等实施环境及人员的投入保障，并与工厂数字化方案集成商协作，共同实施完成 5G 工厂项目。

供应商成立专门运维团队，提供包括软件维护及硬件维护在内的运维服务。其中，软件维护包括预装测试，版本更新及版本回滚；硬件维护包括设立备品备件库，故障硬件替换。此外，供应商提供多形式渠道接收故障申报，根据问题性质及等级提供不同程度的响应。

（3）全连接融合网络方案

A. 5G 和 NB、工业光网融合

在实际的工业现场中，不同用途及特点的设备有其适合接入的网络。如温度感知设备、湿度感知设备等低速、低带宽终端设备宜通过物联感知网络接入；要求超低时延、超高稳定性或超高带宽终端设备宜通过有线网络接入，比如工业控制器，工业相机设备等；对于像 AGV、移动办公设备等高带宽、可移动性要求高的设备，宜通过无线网络接入。多类网络的应用，可能造成网络杂

乱、故障巡检难定位、维护成本高等问题。

5G 融合网络方案，基于 5G 专网、PON 专网和 NB 专网技术，提供面向全连接工厂的融合专网解决方案，并为企业提供所有网络的可视、可管、可控的运营管理服务。

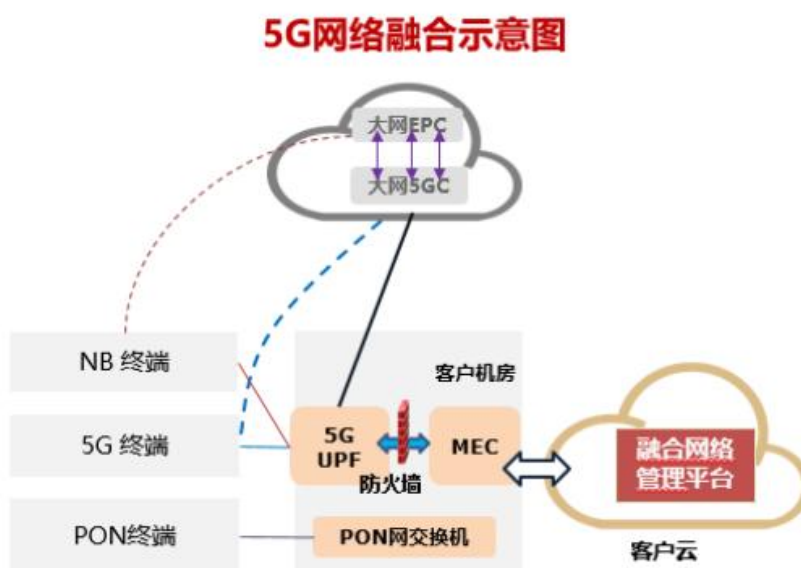


图 12 5G 网络融合示意图

此方案融合了 5G 专网、NB 网络、工业 PON，打通了 3 大专网壁垒，实现了有线无线的融合，通过管理平台，实现网络运维可视、可管、可控，集中化运维，集约高效，协同故障处理。同时，此方案可实现工厂所有数据本地下载，提供专用 UPF 独享数据通道，保证数据安全。

B. 5G LAN

工厂网络建设中，除了传统的基于 IP 协议 L3 组网外，还有大量的基于工业以太 L2 协议组网。针对该类应用的网络连接诉求，

5G 网络需要支持 L2 转发能力，为行业客户提供 5G LAN 服务，确保网络极简运行、极简运维，保证 5G 网络与工业网络最大化适配。

5G LAN 二层组网传输作为新的网络特性，支持以太网 L2 类型和 IP L3 类型的网络连接互通，无需再串接 AR 路由器简化运维管理，降低网络故障率。该技术使数据不出用户，免除了数据在 N6 接口外的路径传输和应用服务器处理带来的延迟，可广泛应用在 5G PLC 集控、5G 远程控制、5G 工业数采、AGV 多车协同场景中。

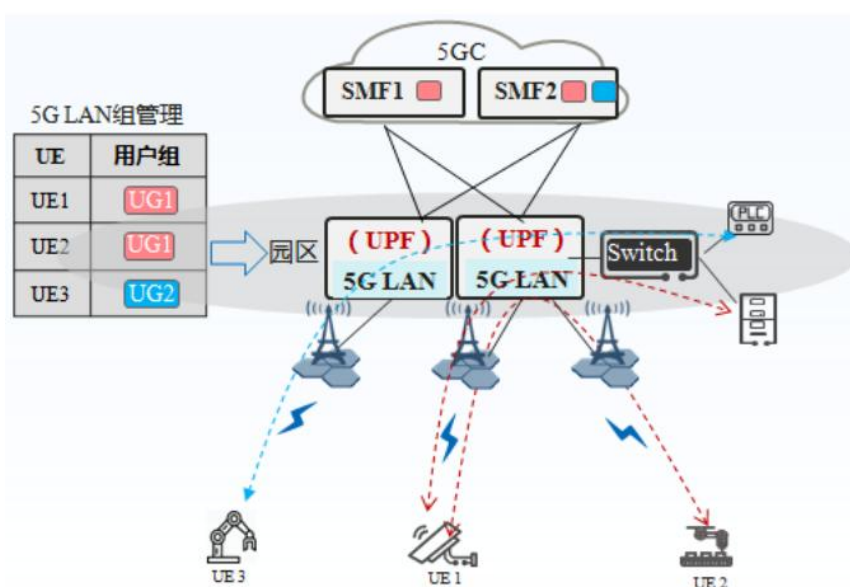


图 13 5G LAN 网络示意图

(4) 5G 专网一体化解决方案部署方案

5G 工厂总体建设方案分为三个部分：

➤ 工业现场网络：利用 5G 基站及 5G 核心网构建现场网络，实现产线级别的人、机、料、法、环、测等生产要素 5G 全连接。结合基于现有生产控制系统的 5G 网络管理系统，可实现以下能力：

- 5G 网络完全覆盖工厂内的生产作业区域；
 - 5G 网络保证业务处理能力满足业务高峰期需要；
 - 5G 网络保证各种业务对网络的性能需求；
 - 5G 网络保证 5G 终端在网络覆盖范围内移动时保持业务连续性；
 - 5G 网络保证敏感数据不出厂区；
 - 5G 网络保证通信过程中的安全性；
 - 面向现场 OT 运维工程师提供易于操作的图形化维护界面。
- 现场设备联网：在产线的各个智能生产设备（例如，布料机、作业机械手、传自动运输车及摄像机、工业相机、RFID 标签/读写器等各类传感器）上加装 5G 工业网关，使得上述设备可通过现场 5G 网络接入生产控制系统。
- 工业边缘智能中心：以边缘计算平台为基座，提供虚拟化算力，支撑 5G 核心网系统、数据处理组件、AI 处理组件及其他工业应用组件的部署运行。边缘智能中心基于超融合架构的微型数据中心构建，支持虚拟机及容器混合算力部署，同时支撑传统工控软件及新兴的工业 AIoT 软件运行。该平台内置的 5G 核心网系统，提供了本地化的 5G 网络接入能力，可快速构建基于 5G 的 OICT 融合方案。



图 14 5G 工厂建设总体方案

2. 工业网络互通

工业网络一般是多种网络混合部署。传统工厂内的工业网络主要包括 IT 网络和 OT 网络，其中 IT 网络主要用于企业生产运营管理，包括企业办公网络、生产管理网络、监控预警网络等。OT 网络主要用于生产现场实时控制，包括工业控制网络和物联网等。使用的网络技术主要包括工业现场总线、工业以太网、工业无线网络等三种类型：

工业现场总线：是一种通信协议或网络技术，用于在工业控制系统中连接和通信各种设备和传感器，如传感器、执行器、PLC（可编程逻辑控制器）等。工业现场总线模式通信速度相对较低，通常用于低速或时间不敏感的应用。

工业以太网：是一种以太网技术的变种，专门设计用于工业

环境。它采用标准以太网协议，但在物理层和数据链路层上进行了调整，以适应工业应用的需求。工业以太网支持高速数据传输，适用于需要大量数据的应用。

工业无线网：是一种使用无线通信技术在工业环境中建立连接的网络。它可以用于在工业设备之间或与控制系统之间传输数据和命令，通常用于需要移动性或难以布线的情况。工业无线网提供无线通信，消除了有线连接的限制。

随着 5G 技术演进和企业数字化转型，生产制造的无线化、柔性化、智能化等需求持续加大，工业企业对 5G 技术充满希望。目前工业企业充分利用 5G 大带宽特性，将 5G 接入到办公网络、生产管理网络、监控预警网络，同时利用 5G 低时延高可靠特性，构建柔性产线，在产线上探索 5G 网络与工业控制网络的融合，即通过 5G 网络可将企业办公、生产管理、监控预警、工业控制、物联等网络进行互联互通，并形成星形的网络架构，可实现现场终端设备的扁平化接入，改变传统繁琐的基于有线多层级交换机的分层分级连接方式，加快 IT-OT 网络的融合。

5G 网络与工厂现有网络及设备的接入方式也有三种，包含通过 5G 工业网关接入、通过 5G CPE 接入、5G 设备直接接入等。

5G 工业网关接入：主要针对有线网络，并且已接入现场总线或工业以太网的 I/O 设备、机床、生产线、仪器仪表等，不做任何改变，仍然接入现场总线或工业以太网中，只是在网关处由原有的工业网关更改为 5G 工业网关，从而接入 5G 网络。

5G CPE 接入：可满足有线网络和工业无线同时接入。对于当前已接入现场总线或工业以太网的 I/O 设备、机床、生产线、仪器仪表等，也是不做任何改变，继续接入现场总线或工业以太网中，但需将有线网络接入到 5G CPE 中，从而接入 5G 网络。对于原无线设备可通过原有工业无线网络接入 5G CPE 中，从而接入 5G 网络。

5G 设备直接接入：需对原设备进行 5G 化改造，在设备中内置 5G 通信模组，以便可直接接入 5G 网络中。目前主要的 5G 设备有 5G 机器人、5G AGV、无人驾驶纯电动矿车、遥控挖机及自动钻机

3. 边缘计算部署

边缘计算是在靠近物或数据源头的一侧，采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放体系，就近提供智能服务，满足企业在实时业务、应用智能、安全与隐私保护等方面的需求。

边缘计算将原有云计算中心的部分或全部计算任务“下沉”到靠近用户的网络边缘侧，使物联网设备不再需要将产生的数据都上传至遥远的云计算中心，较之传统的云计算架构，边缘计算具有低延迟、高安全性和低核心网负载的优势。

低延迟：在云计算架构中，物联网设备产生的海量数据都上传至云计算中心进行处理，网络带宽的限制会给核心网络带来巨大的负载压力，造成网络堵塞，导致较长的网络传输时延，该网络模式不能满足物联网应用的高实时性需求。比如，无人驾驶需

要每一个动作都在毫秒级时间内之内完成。边缘计算通过将云计算中心的计算和存储能力“下沉”到网络边缘侧，使用户的服务请求可以在网络边缘侧进行处理，保障了处理的实时性。

高安全性：物联网设备产生的数据通常包含用户的隐私数据，将这些数据上传至云计算中心会增加泄露用户隐私的风险。在边缘计算中，用户的数据在本地设备或边缘节点上进行存储和处理，避免了隐私泄露问题。同时，边缘计算在边缘设备和云计算中心之间分配存储、处理和应用，黑客攻击只会使单个设备或边缘节点上的本地数据受到破坏，而不会导致整体数据遭到破坏。边缘计算是分布式架构，具有更高的可靠性和容错性。

低核心网负载：随着爆炸式增长的物联网设备及其产生的海量数据，将这些数据都上传至云计算中心会导致核心网负载过重，引起网络堵塞。而在边缘计算中，本地设备收集的数据可以在本地进行计算分析，或者在本地设备上对必须上传至云计算中心的数据进行预处理。较之原始数据，预处理之后的数据要比其小得多。

边缘计算作为 5G 工厂的重要组成部分，企业可根据生产现场需要，在产线、车间、工厂等不同层面按需部署边缘计算节点：

产线层面：在产线上可部署边缘控制器，大幅提升生产现场的数据采集与传输能力，同时承载与生产管控密切相关，具有低时延、高可靠要求的智能化应用，促进应用部署精细化，解决工业互联网平台负担“重”的问题。

车间层面：在车间内可部署边缘网关，充分利用边缘侧资源异构、实时响应等特点，通过在边缘侧开展工业协议转换、数据预处理，提升工业数据质量，完善数据集成体系，解决工业互联网数据价值“低”的问题。

工厂层面：在工厂内可部署边缘云，与中心云不断联动，提升数据流通效率，发挥边缘侧分布式存储能力，有效改善了海量数据上传造成的网络拥塞问题，并结合数据分析、人工智能等技术提高决策智能化水平，同时针对差异化应用需求协同调用云边资源，为边缘侧提供与云上一致的功能和体验，解决工业互联网应用部署“难”的问题。

4. 业务系统建设

（1）网络服务与管理系统

网络服务与管理系统，是企业对工厂内网进行智能化运维和管理的综合平台。在企业内部搭建网络服务与管理系统，对工厂内网进行智能化运维和综合管理，实现网络运维管理的可视化、网络与业务协同的智能化、告警处理的及时化、网络升级的联动化。同时建议该系统具有“傻瓜式”的网络运维管理能力，使得企业网络管理人员可以根据企业需要对业务及网络进行端到端监控，管理接入网络的用户，动态调配网络资源，及时发现并跟踪网络故障等，做好日常网络运维工作。网络服务提供商可根据使用权限，通过系统进行网络远程维护、升级、故障处理等，降低企业网络运维管理成本及复杂度。

（2）数据存储节点

数据存储节点是一个存储原始数据的系统或存储库，其中的数据可供存取、处理、分析及传输。在工厂内部搭建数据存储节点，支持海量数据的集中存储与分析，便于工厂各方对于数据的使用，也可以根据生产规律及数据分析需要，长周期性存储历史数据。

对于数据存储节点中存储的多源异构数据，可通过工业互联网信息模型进行规范，即通过语义标准化描述实现海量多源异构数据的互认互通，以及跨设备、跨系统互操作。在 5G 工厂建设中，可在数据感知层、数据处理层、应用服务层分别部署信息模型，使用数据中间件实现信息模型的即插即用，实现工厂内各功能层级数据的统一表示和融合存储。

（3）工业互联网标识企业节点

当前我国工业互联网标识解析体系已经逐渐完善，已应用于国内多家工厂，对厂内关键设备、产品、工艺、库存等资源统一标识化。建材行业标识解析二级节点已建设完成，面向广大建材生产企业及相关行业提供标识服务。

企业标识服务节点是工业互联网标识解析体系接入和输出服务，以及标识应用实施部署的重要节点。它能够面向供应链企业、物流中心等企业提供标识注册、标识解析、标识数据管理等功能，既可以独立部署，也可以作为企业信息系统的组成要素。企业标识服务节点向上对接二级节点，向下对接企业实际数据或设备，

主要功能包括企业内的人、机、料、法、环等对象的标识注册、标识解析、标识数据管理等。

建设部署企业节点，对接建材行业二级节点实现标识解析体系的接入。企业通过标识解析体系打破工厂间、企业间异构数据交互的壁垒，实现工业数据的高效互通，促进数据资源共享，提升生产协同效率。

（4）企业级工业互联网平台

在 5G 工厂的建设中，企业级工业互联网平台重点聚焦 PaaS 层和 SaaS 层，强化工业知识沉淀、数据模型训练、应用开发和部署等，提升企业生产管理的快速响应和运营管理的精准决策的支撑能力建设。同时，可与建材行业工业互联网平台建立对接，通过 5G 网络获取行业工业互联网平台提供的各类云应用服务。

（三）厂区现场升级

建材企业 5G 工厂重点从现场装备、数据采集设备升级、IT/OT 融合应用、生产服务等四个方面进行升级。

1. 现场装备网络化改造

现场部署 5G 全连接设备包括 5G CPE、5G 射频单元 pRRU，以及各种生产装备如自动控制系统、工业相机/摄像机、模台清理设备、机械手、养护系统、拆模装置、起板机、无人矿卡等，通过全连接技术完成与边缘计算平台上的应用进行交互。交互的信息包括设备采集上报的信息，以及应用下发给生产设备的控制信息。

打通控制网络，解决设备与设备，点对点之间的桥梁问题，

采用 5G 全连接系统架构的设计，要求既能够适应新厂建设，也能适应老厂改造，实现 PLC 对 PLC、PLC 对 I/O 之间 5G 直连，保证 ms 级低时延数据通信；温度、压力、振动、料位、液位、位置等分散的传感器信号通过无线收集、汇总及上传，在厂区范围内可任意部署传感器/智能终端，无需部署光缆、信号电缆和电缆桥架等，节约通信设备/施工方面的投资，同时可以做到工艺快速扩展。

由于建材行业传统设备较多，多数设备不具备联网能力，需要进行网络化改造。对于工厂内数控机床、激光钻孔机器人等没有移动需求的设备可采用有线方式。对于 AGV、叉车、码垛机器人等有移动需求的设备可采用无线联网方式。

当前，建材工厂现有工业网络采用了基于 TCP/IP 的 Profinet 工业通讯协议，生产线上的设备均支持 PN 网络通讯方式。借助核心网提供的 5G LAN 功能，支持终端设备如 PLC 与上位机在局域网内的互通数据，使数据不再依靠物理硬线，在 5G 网络即可实现互通。

专栏 设备 5G 网络化改造方式

外接 5G 终端/网关的方式：完成设备的 5G 化改造。现阶段主要是通过连接 5G CPE 或 5G 工业网关进行改造。其中 5G CPE 适用于现场有移动和旋转摆动设备，有无线连接需求的工业场景；5G 工业网关除无线连接需求的工业场景外，还适用于在工厂边缘侧对于数据汇聚、处理需求，工业协议解析需求等场景，还可作为

边缘网关的应用场景。

内置带有 5G 功能的芯片、模组、传感器：伴随着 5G URLLC 技术的发展，5G 模组将提供类似于传统工业模组的功能，工业现场设备（如 IO/变频器/PLC 等）可内置集成 5G URLLC 模组，实现从传统工业模组向 5G 模组平滑过渡。

2. 数据采集设备升级

5G 网络可支撑视频、声音、高清图片、海量文字数据、时延/可靠性要求较高指令信息。在人、机、料、环、环、测等全面联网后，便可在关键位置部署联网工业相机、摄像头等采集设备，结合人工输入、系统导入、自动感知、设备读取、视频采集、系统生成等方式，对研发数据、生产数据、运维数据、管理数据、外部数据等各类生产运营管理所需的数据进行采集。采集到的数据应包含但不限于海量的关键价值数据、接口数据、信息化数据以及文档、图片、音频、视频等类型数据。

3. IT/OT 应用融合化部署

建材企业 IT 系统应用一般建设部署在办公端，由具有计算机、软件等背景知识的人员建设，主要是实现日常办公的信息，提高管理运营能力。OT 系统应用一般部署于工厂端，主要由工厂内生产人员控制，用于实现生产制造自动化。传统生产模式下，IT 与 OT 网络相对独立，IT 应用与 OT 应用间数据无法互通，运营管理与生产管理相对分离。

在 5G 工厂建设中，需改变原有工厂内 IT-OT 系统应用建设运营方式，组织 IT-OT 融合团队，对 IT-OT 进行一体化部署，通过应用软件或系统功能的云化部署，研发面向工厂生产、运营、管理等需要的各类移动端应用程序（APP），建立起扁平化、灵活化“云-边”协同架构，形成 IT-OT 应用的统筹建设、统一运维、统一管理，并促进形成工厂内同时要加快推进云网融合，实现网络资源、计算资源、平台资源等横向打通，提升工厂生产运营管理效率。

企业可根据生产现场需要将应用部署在边缘计算节点和企业级工业互联网平台上。建议对高实时性、高可靠性、高安全性的应用按需部署在边缘计算节点上，通过边缘计算、人工智能等技术，为生产的端侧就近提供智能化服务，提升企业的生产效率。对需要海量数据支持、高算力的应用及相关管理系统功能等部署在企业级工业互联网平台上，可通过云计算、大数据、人工智能等技术，对设备、产品、生产工艺、企业管理等模型进行训练，持续优化生产工艺，实现工厂各生产环节的数字化转型升级。

4. 生产服务智能化升级

建材工业企业在数字化、网络化、智能化发展的过程中，对生产服务提出了新要求。5G 网络在建设完成后，企业需要考虑利用 5G 网络低时延、高带宽、高可靠的特点，发展智能化应用。在 5G 网络应用初期，企业可根据自身需求，重点发展 2-3 个“5G+工业互联网”应用，优先解决在生产服务过程中的痛点问题。

此外，在实现生产服务智能化升级的过程中，企业可考虑利用 5G 技术实现企业生产运营过程中海量数据的采集、传输和汇总处理，建立数据中心。利用人工智能、大数据分析等技术，对海量工业历史、实时、时序数据进行聚类、关联、预测等分析，对工业数据开展深度挖掘，实现设备健康评测与预测性维护、能耗排放管理等，为企业精准决策提供依据。

（四）关键环节应用

目前，工业和信息化部发布了“5G+工业互联网”20 个典型应用场景，涵盖到工业研发设计、生产运行、检测监测、仓储物流、运营管理等关键环节。根据建材行业 5G 应用需求，从中筛选出适合行业发展的 5G 应用场景并提出了多个创新应用场景，为建材企业 5G+工业互联网融合应用建设提供指导。建材各细分领域可根据领域内自身发展需求和信息化基础，进行 5G+工业互联网应用建设。

表3 5G 应用场景汇总表

应用\领域		水泥	玻璃	陶瓷	无机纤维及制品	混凝土及水泥制品	墙体材料	非金属矿及制品	防水材料	耐火材料	保温材料
生产运行	远程设备操控	●	●	●		●		★		●	●
	精准动态作业	●	●	●	●	●			●		
	设备故障诊断	★	★	★	●	●	●		★	★	★
	设备预测维护	★	●	●							
	无人智能巡检	●	●	●	●	●		●			
	三维VR巡检	▲				▲		▲			
检验监测	生产现场监测	★	★	★	●	★	●	★	●	●	●
	机器视觉质检	●	★	★		●					
仓储物流	厂区智能物流	★	●	●	★	●		●	●	●	●
	厂区智能理货		●	●	★				●	●	●
运营管理	生产过程溯源	★	●	●	●	●			●		
	生产能效监控	★	★	●		●	●				
	虚拟现场服务	●						●			
	大规模个性化定制			▲			▲				
	数字孪生工厂	▲	▲		▲			▲			
	安全生产管理	▲	▲	▲		▲	▲	▲			
	环保管控	▲	▲	▲		▲		▲			

注：★—必选应用 ●—可选应用 ▲—创新应用

1. 生产运行

（1）远程设备操控

针对建材行业降低设备运行成本、提高设备巡检效率等需求，建设基于 5G+工业互联网的远程设备操控应用。综合利用 5G、工业自动化控制等技术，在设备端和运行操作端建立高效、安全的通信渠道。在主要生产设备上部署 5G 网关，结合内置 5G 模组的摄像头、传感器等数据采集装备，实现生产设备运行数据的采集，通过 5G 网络实时传输至设备管理平台。设备管理员、操作员可远程获得高清视频画面及各类终端数据，对设备运行状态进行实时监控。通过 5G 网络传输操作指令，结合设备操控系统实现对现场工业设备的远程精准操控。

基于 5G 网络的远程设备操控应用场景的建设可帮助企业减少设备运营成本、提高生产效率。5G 网络的低时延保证了操控指令的高效传输，通过远程设备操控可在一定程度上减少工人工作的强度和难度，减少高危作业给工人带来的风险。

● 矿卡远程控制

矿卡在遇到特殊路段或紧急情况时，通过远程接管处理的方式使车辆能够继续行驶或移动到安全位置。远程接管方式包括响应式接管和紧急接管，前者是指当矿卡遇到无法处理的状况时，向平台发送远程接管请求，平台接到请求后立刻开始远程接管；后者是指遥控驾驶平台接收车端实时上传的状态信息，主动发现车辆异常并发出报警信号提醒人工接管。远程驾驶中心可通过 5G 大

带宽通信实时获取车载和路侧成像设备高清视频，并将控制信号下发到车端，实现对车辆的紧急接管。

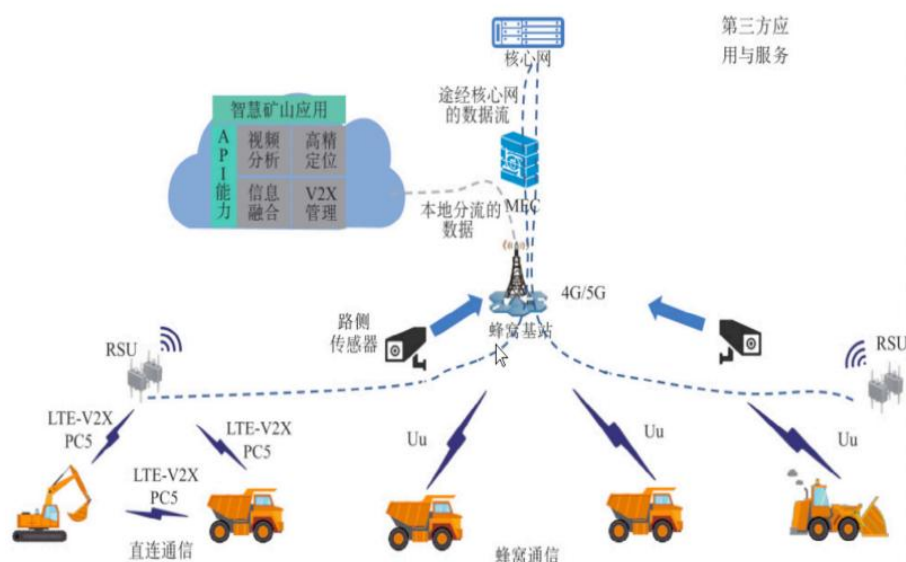


图 15 矿卡远程控制

(2) 精准动态作业

为了提高建材产品生产工艺精确性、保障安全生产，建设基于 5G+工业互联网的精准动态作业应用。利用 5G 高效传输能力，配合无人驾驶电动矿车、布料机、自动钻机 etc 智能装备，实现远程动态精准作业。在作业过程中，通过 5G 网络将测量数据、现场采集画面等实时传输至控制台。控制台根据生产需要远程下达作业指令，提升生产作业的精度和自动化水平。

基于 5G 网络建设的精准动态作业应用可实现生产作业的自动化和效率的提升。同时，精准动态作业可取代一部分人工操作，工人利用控制系统远程操控智能装备进行生产，从而减少工人工

作强度和危险性，在降低生产成本的同时也可减少生产过程中安全事故的发生。

例如，在混凝土制品生产过程中，在关键工序中可采用机械臂等多种智能装备，利用 5G 网络实现控制台与装备间的通信，从而提升混凝土制品生产的效率，保证构件生产质量。

● 模具组装

在模台清理工位布置模台清理机械臂、模台摆放机械臂、模台喷涂设备，通过 5G 网络连接 DCS。在模台清理工位布置工业相机，该设备通过 5G 网络连接布置效果检测应用程序。当模台流转到模台组装工位，DCS 系统通过 5G 网络指示模台清理机械臂对模台进行清理。清理完成后，DCS 系统通过 5G 网络指示喷涂设备在模台上喷涂脱模剂。喷涂完成后，DCS 系统依据来自 MES 系统的订单信息，通过 5G 网络控制模台摆放机械臂在模台上布置不同规格的模具。摆放机械臂完成模具摆放后，通知工业相机拍摄模具在模台上的摆放照片。工业相机将拍摄的照片发送至布置效果检测应用程序，该程序将模具摆放位置调整指令发送至摆放机械臂。摆放机械臂根据指令，调整模具摆放位置，直至模具摆放位置符合要求。

典型业务	时延	上行速率	下行速率	可靠性	备注
模台清理控制	20ms	≥100Kbps/路	≥100Kbps/路	≥99.99%	1、时延为单向空口时延 2、时延 ≤ 20ms 概率不低于 99.9%
喷涂脱模剂控制	20ms	≥100Kbps/路	≥100Kbps/路	≥99.99%	
布置模具	20ms	≥100Kbps/路	≥100Kbps/路	≥	

		路	路	99.99%	
布置效果 拍照	20ms	$\geq 100\text{Kbps/}$ 路	$\geq 100\text{Kbps/}$ 路	$\geq$ 99.99%	
模具布置 调整	20ms	$\geq 100\text{Kbps/}$ 路	$\geq 100\text{Kbps/}$ 路	$\geq$ 99.99%	
布置效果 检测	300ms	$\geq 6\text{Mbps/}$ 路	$\geq 100\text{Kbps/}$ 路	$\geq$ 99.99%	1、相机分辨率为 2K 2、相机视频 ≥ 2 路 3、时延为单向空口时延 4、时延 $\leq 300\text{ms}$ 概率不 低于 99.9%

● 钢筋及网片安装

在钢筋网片摆放工位布置网片摆放机械臂，机械臂通过 5G 网络连接 DCS。当模台流转到钢筋网片摆放工位，MES 通知 DCS，DCS 通过 5G 网络指示机械臂按照布筋要求在模具里布置钢筋网片。布置完成后，机械臂通过 5G 网络向 DCS 发送完成消息。

典型业务	时延	上行速率	下行速率	可靠性	备注
布置钢筋 网片控制	20ms	$\geq 100\text{Kbps/}$ 路	$\geq 100\text{Kbps/}$ 路	$\geq$ 99.99%	1、时延为单向空口时延 2、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概 率不低于 99.9%

● 混凝土浇筑

在混凝土浇筑工位布置布料机，在混凝土浇筑工位上方布置工业相机，在边缘计算平台上部署布料质量检查应用。工业相机通过 5G 网络连接布料质量检查应用和 DCS。MES 将构件的厚度、几何尺寸、需要混凝土的方量及强度等信息告知布料机，布料机根据这些信息设置运转参数。当模台流转到混凝土浇筑工位，DCS

通过 5G 网络指示布料机在布模区域定量浇筑混凝，指示工业相机对布料完成后的模具进行拍照。工业相机拍照后将图片通过 5G 网络回传给部署在边缘计算平台上的布料质量检查应用。若布料质量存在问题，DCS 指示布料机在指定的位置进行再次布料进行修补。

典型业务	时延	上行速率	下行速率	可靠性	备注
布料控制	20ms	$\geq 100\text{Kbps/路}$	$\geq 100\text{Kbps/路}$	$\geq 99.99\%$	1、时延为单向空口时延 2、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概率不低于 99.9% 3、相机分辨率为 2K 4、相机视频 ≥ 2 路
布料质量检查	20ms	$\geq 6\text{Mbps/路}$	$\geq 100\text{Kbps/路}$	$\geq 99.99\%$	

● 脱模及起吊

在脱模及起吊工位布置脱模装置和起板机，脱模装置和起板机通过 5G 网络连接 DCS。构件养护完成后，DCS 通过 5G 网络指示脱模装置拆卸模具，完成后通过 5G 网络反馈给 DCS，DCS 通过 5G 网络控制起板机吊起构件。

典型业务	时延	上行速率	下行速率	可靠性	备注
脱模及起吊	20ms	$\geq 100\text{Kbps/路}$	$\geq 100\text{Kbps/路}$	$\geq 99.99\%$	1、时延为单向空口时延 2、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概率不低于 99.9%

（3）设备故障诊断

为了减少建材生产设备故障修复成本和时间，建设基于 5G+ 工业互联网的设备故障诊断应用。在设备上安装功率传感器、振动传感器、高清摄像头等，通过内置 5G 模组接入 5G 网络，将采

集到的设备运行数据和图像画面传输到设备故障诊断应用。当设备运行出现故障时，设备维修人员可通过分析历史运行数据定位可能出现的问题，进行故障分析和诊断。在设备维修过程中，可通过网络实现对维修过程的实时监测，便于设备供应商、技术专家远程对故障修复过程进行指导。

基于 5G 网络的设备故障诊断应用场景的建设协助企业快速定位故障问题，缩短故障修复时间。通过 5G 网络实时将采集到的数据传输至应用，通过大数据分析、可视化工具汇总整理数据形成设备的运行档案，设备运行档案可为故障排查提供数据支撑，便于设备维修人员定位问题。

（4）设备预测维护

为了降低建材生产设备的维护成本、减少计划外停机情况的发生，建设基于 5G+工业互联网的设备预测维护应用。在实现设备远程监控、故障诊断的基础上，引入设备故障预测机理模型、设备健康评估诊断模型对通过 5G 网络采集的设备运行数据进行实时分析，以评估设备监控状态、预判设备运行趋势，智能制定设备维护保养计划。通过对运行数据的监测与分析，提前预警设备的不正常运行状态，设备维护专家可通过系统保留的异常数据对设备的健康状况进行详细检查，避免更大的故障发生。

基于 5G 网络建设的设备预测维护将维护的工作提前，可有效减少生产设备的故障，减少设备维护成本。同时，对设备运行异

常状态的提交预警可为企业生产运行人员争取更多的响应和处理时间，从而减少因设备故障导致的计划外停产带来的损失。

（5）无人智能巡检

为了实现生产巡检智能化、降低安全巡检的成本，建设基于5G+工业互联网的无人智能巡检应用。通过内置5G模组或部署5G网关等设备，实现巡检机器人或无人机等移动化、智能化巡检设备的5G网络接入。安全生产巡视人员可通过巡检系统远程操控巡检设备，对生产现场进行巡视和监控。巡检数据可通过5G网络实时回传至智能巡检系统，结合图像识别、增强现实等技术对现场状态进行初步诊断，对存在安全隐患的地方发出预警，提醒厂区安全管理人员及时处理安全隐患。

基于5G网络建设的无人智能巡检可以有效地提升厂区安全巡检的效率和质量，帮助厂区安全管理人员对厂区安全隐患进行排查。此外，无人智能巡检设备可代替人工进行井下、高温、高湿等生产环境的巡检，减少人工巡检的难度，提升了作业的安全性。

● 无人机巡检及地形采集

矿区开采需要进行爆破，在矿区爆破过程中，为避免人员误入造成伤亡事故，需要对矿区进行安全巡查。矿坑爆破时，通过5G无人机航拍，结合AI图像识别，自动识别人、动物、车辆等目标，警告目标进行撤离，对爆破区域实现智能化警戒，航拍视频同步回传到视频监控系统，方便工作人员及时调看。爆破完成后，集合第三方AI和云服务，使用无人机定期采集地形变化信息，将

地形变化数据更新到地形数据库中，作为下次爆破和矿山开采规划的依据。

应用	上行速率要求	下行操控速率	控制时延	应用范围
巡检数据回传	>100Mbps (8k)	600Kbps	<10ms	无人机巡检



图 16 无人机巡检

（6）三维 VR 巡检

依托摄像采集设施及传感器采集设施升级无人车间，结合数字孪生技术建设微缩版三维车间，结合 VR 基础，实现巡检模式的创新。三维 VR 巡检能够有效解决人工在危废、液态、固废车间作业所产生的健康问题，有效平衡了安全生产中人工与工作之间的矛盾，提升作业质量水平。此外，基于 5G 的三维 VR 巡检有利于将生产设备运行事故隐患降至最低、有效提升安全运营为前提的生产效率。

2. 检验监测

（1）生产现场监测

针对建材生产过程监控、安全生产等需求，建设基于 5G+工业互联网的生产现场监测应用。综合利用多个传感器、多光谱偏振光、摄像头等进行生产过程数据采集，通过 5G 网络将采集到的数据传输到可视化监测平台。结合模型仿真、孪生共智等技术实施模拟生产现场，实现对产品生产制造过程的实时远程监控和对生产过程、生产工艺、生产工序等精准管控，提升生产管控的效率。

基于 5G 网络的生产现场监测使得企业生产管理人员能远程、实时了解到各生产线的作业运行状态，实现对生产过程的精准监控，确保生产制造符合相关要求、保证安全生产。同时，通过对采集上来的数据进行进一步分析，可帮助企业定位可优化的生产环节，实现生产工艺、资源调度的优化，达到提高生产效率、降低成本的目的。

● 投料口、翻板阀堵塞监测

水泥生产过程中，水泥容易在投料口、翻板阀形成堆积造成堵塞，通过人工在监控室操作容易视觉疲劳，且漏检误报几率较高、存在安全隐患。通过在石灰石投料口建设 AI 工业高清视觉检测应用，利用 5G 通信实现与后端品控平台的高速数据传输，使用平台预置算法判断检测，及时发现石灰石投料口堵塞并通知给工厂人员及时处理。

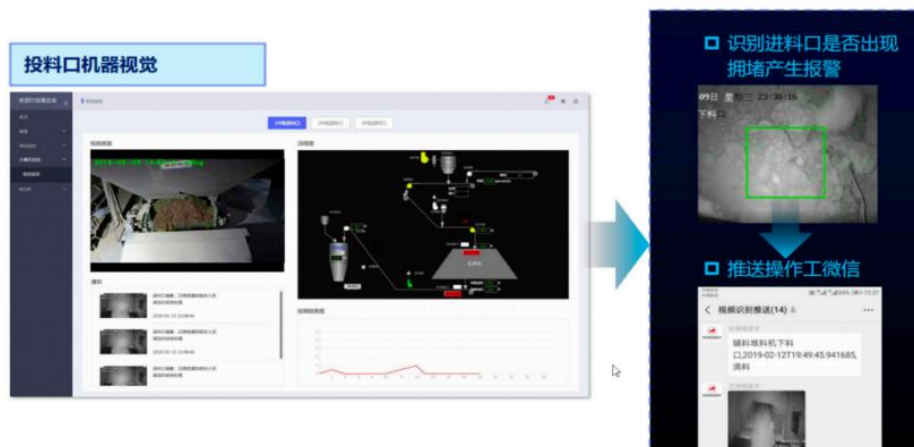
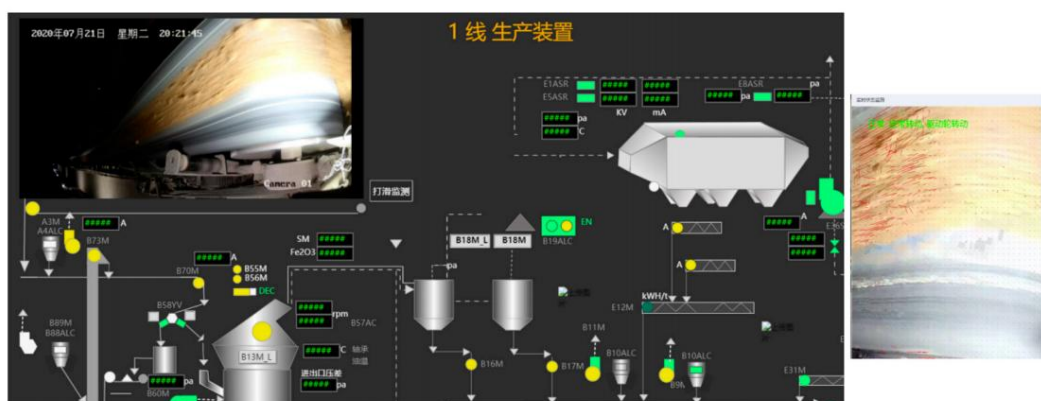


图 17 石灰石投料 AI 工业高清视觉检测

● 皮带损坏监测

在水泥生产、原材料传送等过程中，传送物料的皮带可能会出现损坏、抽丝、打滑、甚至反转等现象，传统人工肉眼巡查难以及时发现问题，影响产线的生产，严重时还容易造成安全事故。利用 5G+机器视觉技术，将高清图像传送到云端，结合人工智能算法，可快速、精确地分辨出皮带发生故障类型，及时通知相关工作人员进行维修。



● 水泥库裂纹监测

水泥库管道会产生裂纹，需要定期巡检，否则将导致水泥库垮塌，发生安全事故。目前多数水泥企业采用人工肉眼+望远镜结合方式检查水泥库是否有裂纹，这种方式不易识别细微裂纹，容易漏检且效率低下。针对此问题，可利用 5G 高清摄像头或无人机航拍，对水泥塔表面进行图像采集，并将高清画面回传至 AI 图像识别系统，利用算法自动识别各类裂纹，及时告警，减少安全隐患。

● 窑炉环境监控

在混凝土构件养护过程中，需要保持构件养护窑内的温湿度恒定。通过安装一定数量的环境监测传感器（如温度传感器和湿度传感器）和环境控制设备（如风机、工业加湿器、天然气锅炉、空气压缩机等），用于监测和控制窑内温度。环境监测传感器采集的数据首先通过 5G 网络送入数据处理组件，经过数据清洗及加工后，再由生产监控软件从数据处理组件处读取。生产监控软件根据环境监测数据及事先设定的控制规则，向 PLC 发送环境控制指令，驱动环境控制设备完成相应的控制。

（2）机器视觉质检

为了提升建材产品质量检测的效率和精度，可通过 5G 网络建设机器视觉质检应用。在平板玻璃、瓷砖等质检工段部署工业相机、激光器、扫描仪等质检终端，通过内嵌 5G 模组或部署 5G 网关等设备，实现质检终端的网络接入，实时将拍摄产品图像传输

至平台。结合图像识别、深度学习等技术，对产品外观等参数进行提取和指标对比，自动筛出质量不合格、存在偏差的产品，供专业质检人员进一步核查分析。

基于 5G 网络建设的机器视觉质检应用可减少产品质量检测的时间和人工成本，促进企业逐步实现产品质量检测线上化、智能化，从而提升企业产品质量控制能力，树立良好的产品口碑。

● 自动质量检测

原来对于马桶、瓷砖等建筑卫生陶瓷的外观检测及过球测试完全凭借人工进行，主要通过目视、敲打等方式判断产品是否合格，存在一定的漏检的概率且效率不高。通过产线部署工业相机、5G 工业网关，借助 5G+UPF 下沉的无线切片专网实现工业相机的汇聚、截图和实时传输。在 MEC 边缘计算网关侧部署实现马桶、瓷砖等产品的自动检测的算法软件，实现边缘计算。同时将采集的照片实时传输到实现算法模型的学习，以实现对边缘算法模型的优化，提升检测精确度。部署在 MEC 的边缘计算模块与 MES 系统对接，实现产线工序的端到端关联，自动筛选出质量不合格的产品。通过机器视觉实现产品质量的自动检测，节省人工检测的成本，提高产品质量检测的精准度。

3. 仓储物流

（1）厂区智能物流

针对行业厂区物流效率提升、生产成本降低的需求，基于 5G+工业互联网建设厂区智能物流应用。利用 5G MEC+超带宽（UWB）

高精定位技术，可以实现对物流运输终端的控制。智能物流调度系统可通过 5G 网络实时下达运输指令到接入 5G 网络的自动导航车辆（AGV）、自主移动机器人（AMR）、机器臂等装卸运输装备，实现厂区内各生产工段物料的无人智能配送，降低人工传送的成本，提升生产效率。

基于 5G 网络建设的厂区智能物流可实现生产线自动化、智能化，智能物流调度系统在接收到运输任务后，可利用机器学习等技术对厂区内物流设备运行情况、物流线路进行分析，自动制定厂区内物流运输计划，利用 5G 网络将运输指令下达给物流装备，从而实现对厂区物流装备的精准调度，减少闲置物流设备，提高生产过程中物流效率。

物流运输通信技术要求详情参数见下表：

业务场景	时延	上行速率	下行速率	可靠性	备注
物流通道位置判断	20ms	$\geq 6\text{Mbps/路}$	$\geq 100\text{Kbps/路}$	$\geq 99.99\%$	1、相机分辨率为 2K 2、时延为单向空口时延 3、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概率不低于 99.9% 4、相机视频 ≥ 2 路
出货区或堆放区位置判断	100ms	$\geq 100\text{Kbps/路}$	—	$\geq 99.99\%$	1、时延为单向空口时延 2、时延 $\leq 100\text{ms}$ 概率不低于 99.9%

（2）厂区智能理货

为了提高建材产品仓储利用率、提高货物分拣效率，建设基于 5G+工业互联网的厂区智能理货应用。采用连接 5G 网络的 AGV 小车、叉车、机器臂等装备，实现货物的自动运送、按需码放货物、智能分拣等。利用光学字符识别（OCR）等技术自动识别货物标识、外观、尺寸等信息，结合立体仓库管理系统，实现对厂区仓库货物的盘点和管理。

基于 5G 网络建设的厂区智能理货应用可提升工厂内货物管理、盘点、分拣的自动化，在提升生产效率的同时也可减低人工成本。此外，利用 5G 网络低时延的特性，可实现远程指令下发和智能调度，从而提升货物盘点、分拣过程的精确度和效率。

4. 运营管理

（1）生产过程溯源

针对建材企业提高质量竞争力和产品质量控制能力等需求，建设基于 5G+工业互联网的生产过程溯源应用。运用区块链、工业互联网标识解析等技术，建设产品关键要素和生产过程追溯应用，可通过查询产品条码，获取对产品原材料、生产工艺、质量检测信息等生产关键信息。将生产过程中扫码枪、工业相机、摄像头、读卡器等设备接入 5G 网络，将生产过程中物料信息、工单信息、作业状态等信息实时传输至管理平台。平台对接 ERP、MES 系统整合形成溯源数据库，实现对产品生产过程溯源。

生产过程溯源应用场景的建设可帮助企业提升质量控制能力，

实现对产品质量问题的溯源。5G 网络的建设可使得企业采集图像、视频等更多种类的数据，海量溯源数据可为产品工艺流程优化、质量能力提升提供有力数据支撑，促进生产效率和品牌形象的提升。

（2）生产能效监控

针对建材行业减少能源消耗、减少温室气体、污染物排放等需求，建设 5G+工业互联网的生产能效管控应用。利用内置 5G 模块的仪器仪表对生产设备的用能数据、企业生产环节粉尘、二氧化碳等排放数据进行采集，通过 5G 网络实时传输至能效管理系统。系统根据采集上来的数据，自动生产能源使用、碳排放报表，供企业生产管理人员分析决策。结合大数据分析、人工智能诊断等，对企业用能需求及污染物排放进行预测，制定节能减排计划，进一步挖掘生产过程中节能减排潜力。

基于 5G 网络建设的企业生产能耗、排放采集监测系统可实现海量数据秒级采集，结合能源管理系统、碳排放监测系统等，辅助企业对各生产环节的能源使用情况、污染物排放情况进行实时监测。通过对能效数据的分析，配合产线排程调整和参数设置，可帮助企业实现节能减排、削峰填谷。

（3）虚拟现场服务

为了保证建材生产的安全性，大多数建材生产工厂、园区对人员的管控非常严格，外来人员在没有报备的情况下不得进入生产区域。面对企业参观、从业人员培训等需求，可利用 VR/AR 等

技术结合 5G 网络，打造虚拟现场服务，为相关人员构建贴近真实场景的全虚拟场景，这样在不影响正常生产的同时也可以达到参观、培训的目的。

1) VR/AR 远程参观

水泥厂区的参观包括矿山、产线、控制台等区域，完整的参观费时费力，工作量大，很多场景环境恶劣而且具有一定的危险，还会影响厂区生产。利用 VR/AR 技术可实现厂区远程参观，接待人员佩戴眼镜，厂区的实时情况通过 5G 网络实时传送到控制室，参观人员通过手机、视频等手段收看直播，并进行交流，既节省了成本，也能够提高参观效率。

2) VR/AR 远程培训

为了保证建材生产过程的规范性和安全性，工人在上岗前都需要通过理论和实操培训，为了让工人可以更直观的了解生产作业流程和规范，可利用 VR/AR 技术还原矿山、水泥厂区等实际生产场景，工人可通过佩戴 VR 眼镜进行实操训练。利用 VR/AR 技术辅助培训既可提升培训效果，也可避免安全风险。

典型应用	沉浸等级	通信速率要求	时延	应用范围
VR 虚拟应用	初步沉浸	25Mbps	<40ms	虚拟展示等静态展示
	部分沉浸	100Mbps	<30ms	虚拟培训等交互场景
	深度沉浸	400Mbps	<20ms	虚拟装配等强交互场景
	完全沉浸	1Gbps	<20ms	强交互，全沉浸场景

（4）大规模个性化定制

针对建材行业日益增长的产品个性化定制需求，基于 5G+工业

互联网建设大规模个性化定制应用。通过内置 5G 模组或部署 5G 网络将数控机床和其他自动化工艺设备接入 5G 网络，实现生产设备连接无线化，减少生产线调整时间和成本。建设大规模个性化定制平台，对个性化订单进行拆解，将不同订单内存在相同的模块需求进行分拣、组合，与企业 ERP、MES、WMS 系统关联，制定最优生产方案，实现流水线上个性化产品模块的有序生产。

5G 网络的建设为企业产品产线调整提供了更多的灵活性，为行业探索大规模个性化定制提供了网络基础。大规模个性化定制可帮助企业更快地响应市场需求，探索“以销定产”的新模式，提高设备利用率和员工劳动生产率，降低库存成本。

（5）数字孪生

● 数字孪生工厂

5G 网络可广泛连接产线、工厂内的传感设备，并将采集到的数据实时传输汇总。应用建模仿真、多模型融合等技术，构建产线、车间、工厂等不同层级的数字孪生系统，通过物理世界和虚拟空间的实时映射，实现基于模型的数字化运行和维护。数字孪生工厂的建设可让工人在安全办公区可以随时直观的浏览到微缩版车间内的每个空间细节、设备运行细节；再结合锁定标注位置的调用摄像头、传感器等反馈车间实时监控影像数据，设备运营数据、形成有空间定位逻辑和故障排除实时锁定逻辑的数字孪生无人车间格局。



图 19 数字孪生工厂

● 矿山三维可视化

利用地理信息系统、物联网技术、建模技术等手段，对矿山进行精确建模、实时感知、仿真模拟，以提高日常生产作业过程中的响应速度。矿山三维可视化应用可实现对矿山生产环境、生产状况、安全监测、人员和设备状态的实时高仿真显示，解决矿山建设过程中基础信息不足、信息更新不及时等问题，实现多维数据可视化场景，实时把控整个矿山运营情况，有效提升管理效能。



图 20 三维可视化平台

（6）安全生产管理

安全生产是建材企业需要重视的问题，5G 网络可以连接各类穿戴式传感设备、高清摄像头等，将生产现场情况实时传输汇总至监测管理中台，实现安全生产监测、安全事故预警等，提高作业安全性，减少安全生产事故为企业带来的损失。

1) 工人作业安全监控

工人作业过程的安全监控是安全生产的重要组成部分。通过佩戴可穿戴智能设备对周围环境的实时监测，预测突发事件的发生率，并提高救援效率。打造人员安全管理系统，通过 5G 精准定位技术，结合智能佩戴终端，实现对人员的精准定位、轨迹追踪、电子围栏、人员健康监测及一卡通等功能。监控视频信号通过 5G 传送到 MEC 边缘计算平台，利用 MEC 上集成的 AI 算法实时分析识别出异常并告警，结合高精度定位，实现电子围栏功能，实时生产人员是否按照规章进行操作。此外，工人通过佩戴 5G 智能安全

帽可借助传感器或 SOS 一键求救等向后台求助,5G 网络的低时延、高稳定性可保证后台管理人员与一线员工通话质量,并通过摄像头了解周围环境,提升救援效率。

可穿戴智能设备与 5G 网络的结合使得多线路实时回传现场视频画面变得可行,对于远程安全救援、事故现场视频实时监控可以增加突发情况下员工的获救概率,降低安全事故造成的损失,提高员工在作业过程中的安全性。

2) 重点工序安全生产监控

针对混凝土浇筑、脱模起吊等重点工序,可通过部署高清摄像装置,实时采集生产现场图像、视频。高清摄像装置将模具车、摆渡车、以及窑车等设备的运行状态视频通过 5G 网络实时回传到边缘计算平台的安全监控应用,精准识别模具车、摆渡车、窑车发生撞车、脱轨等现象,并及时通知安全管控人员,安全管控人员可及时操作 DCS 等系统,控制产线暂停生产,避免发生严重生产事故。

业务场景	时延	上行速率	下行速率	可靠性	备注
高清视频监控	20ms	$\geq 6\text{Mbps/路}$	—	$\geq 99.99\%$	1、相机分辨率为 2K 2、时延为单向空口时延 3、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概率不低于 99.9%
紧急情况停机控制	20ms	—	$\geq 100\text{Kbps/路}$	$\geq 99.99\%$	1、时延为单向空口时延 2、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概率不低于 99.9%

（7）环保管控

在工厂、园区部署环保监测装置，通过排放采集与监控，排放分析与优化，降低污染物排放，减少建材生产过程中单位产值碳排放量、污染物排放量等。例如，水泥运输时，由于司机操作不当可能会导致大量水泥灰泄漏到空气中，不但影响环境质量，同时也会对工作人员的健康造成损害。为了通过 5G+AI+云平台的智能分析功能，可以对冒灰污染进行检测，有效的缩减识别时间，提高处置效应，避免环境污染事件。

此外，搭建环保管理平台，应用机器视觉、智能传感和大数据等技术，开展生产过程污染物排放数据的实时采集、监控与分析优化，实现污染监测和管控，减少生产制造过程对周边环境的污染。

（五）网络安全防护

5G 工厂的建设使得工厂内更多的工业生产设备、工业控制系统连接到网络中，海量工业生产数据被采集并通过网络上传至云端。在 5G 工厂建设过程中网络安全防护能力的建设是重要、不可或缺的一部分。网络安全防护能力的建设主要有网络安全技术体系建设、网络安全管理体系建设和网络安全运营体系建设这三大组成部分。

网络安全技术体系建设，需要在设备层级、接入层级、工业控制层级、网络层级、边缘平台层级、平台应用层级等多个层级建立起纵深防护的安全结构，利用入侵监测、安全审计等多种安

全手段加强工厂网络安全防护能力。阶段性开展安全监测评估，提升网络安全监测水平，提高网络安全危险发现、快速处置和应急响应能力。

网络安全管理体系建设，依据工业互联网安全分类分级规范及相关的政策与标准，开展工业互联网企业网络安全分类分级，按照不同级别的安全防护要求落实安全防护措施。加大网络安全管理人员的投入和培养，明确责任部门和责任人，建立网络安全事件应急响应机制，提升对网络安全事件的管理。

网络安全运行体系建设，工业互联网网络安全定级较高的企业构建网络安全态势感知可视化平台，实时监测工厂内网络安全情况，提高网络威胁发现、快速处置的能力。建设建材行业工业互联网网络安全态势感知平台，监测行业内 5G 工厂的网络安全运行情况，及时调度资源协助企业高效应对网络安全事件。

四、工厂实施建议

企业在建设 5G 工厂前应综合考虑建设成本与企业现有技术能力，并适度超前谋划，具备未来可扩展能力。在 5G 网络建设时，建议大型企业及有特殊需求的中型企业选择混合专网、独立专网的方式，自建业务系统、企业节点；中小微型企业可通过虚拟专网方式，根据发展需要选择与自身匹配的业务系统，在行业工业互联网平台订阅相关云服务。

（一）新工厂

1. 规划设计阶段

对于新工厂建设，可以将 5G 网络环境作为“新基建”的一部分。在规划设计阶段，充分考虑网络架构设计、设备选型、系统开发、关键环节应用、网络安全防护等建设内容，统筹布局，协调推进。只有在规划设计阶段做好充分准备，才能确保后续建设工作的顺利进行。

2. 5G 基础设施建设

在新工厂 5G 基础设施建设阶段，需要完成 5G 网络建设、工业网络互通、边缘计算部署、业务系统等工作，形成较为完备的 5G 工厂的基础环境。5G 基础设施的建设需要企业投入大量的资金和人力，同时也需要与各个部门和供应商进行紧密合作。

3. 达产阶段

在达产期间，企业应实现厂区内人、机、料、法、环、测的全面联网，对关键数据进行采集并集中存储。同时，在边缘计算节点和企业级工业互联网平台中完成各类应用的开发和部署，推动数字孪生厂区建设。这需要不断探索新的技术和应用场景，并持续优化和完善系统功能，以满足不断变化的生产需求。

4. 持续推广

5G 工厂的建设于建材行业的智能化、数字化发展而言是一个具有广阔前景和巨大潜力的领域，只有不断创新和发展，才能推动建材行业向更高水平迈进。为了实现 5G 工厂的目标，企业可进

一步探索与政府、行业协会、研究机构等相关方的合作，共同推动 5G 技术的应用和发展。同时，企业应加强在 5G 人才培养、技术研发等方面的投入，持续增强企业竞争优势。

（二）现有工厂

企业应依据现有厂区业务特点和配套条件，结合企业需求紧迫程度、基础条件和资金承受能力等因素，进行 5G 工厂建设评估。企业可从必选应用场景改造出发，制定可实施的改造方案，明确阶段任务目标、预期效果及详细改造计划，分阶段进行改造，逐步形成完备的 5G 工厂关键能力，持续提升厂区的综合竞争力。

1. 改造总体规划

现有工厂改造首先应对厂内现有工业网络进行整体规划，充分发挥原有设备的作用，避免重复搭建，避免产生兼容性问题。由于每个企业的实际业务情况不同，更加需要定制企业自己的工业通信网络，而不能使用统一的模板建设，规划先行，按需升级。针对对于工业 1.0、2.0、3.0 的建材工业企业，实施不同的工厂改造策略。

（1）处于工业 1.0 的建材企业，首先需要全面提高生产运营过程中的信息化程度，推动两化融合进程。进行工厂网络的部署，实现重点生产环节网络的覆盖。可优先进行基础生产运营辅助系统的建设，如 ERP、MES、WMS、OA 等。推动生产运营过程的线上集中调度和管理运营效率的提升。

（2）处于工业 2.0 的建材企业，需进一步推动自动化控制系

统的部署以及应用。根据 5G 网络的通信要求，对自动化控制系统进行升级加固。开展 5G 专网或混合专网的建设，在专网建设过程中需做好与原有工厂网络、企业运营网络的有机融合。在 5G 网络应用方面，建材企业可从安全生产监测、设备运行监测、物流运输等业务方面引入 5G 技术，利用 5G 网络特点提高各业务流程的效率。

（3）达到工业 3.0 的建材企业，需考虑将 5G 技术应用到建材生产产品的核心环节。推动 5G 技术覆盖工厂大部分的业务环节，特别是在建材工厂数据的大规模采集及工厂数据中心的建设。利用 5G 技术建设数字孪生工厂，实现数实融合，革新建材生产管理运营模式，推动新型工业化进程。

2. 5G 基础设施建设

对于现有工厂进行 5G 建设，企业需要先进行工厂的数字化转型，对现有工厂进行网络基础设施的升级和改造，部署 5G 网络，使设备联网，实现工厂内部的互联互通。同时，企业可对现有各类“哑设备”、单机系统等网络化改造，在安全可控的前提下，提升工业数据实时采集能力；对具有移动部署、灵活作业、远程操控等需求的设备，积极使用带有 5G 功能的芯片、模组、传感器等进行改造；加快 5G 与可编程逻辑控制器（PLC）、分布式控制系统（DCS）等工业控制系统融合。

工厂可以利用物联网技术、大数据分析等技术手段，对生产数据和设备数据进行实时地采集和分析，实现生产过程的可视化

和透明化，以此提升生产效率。同时，通过工业互联网平台可以实现生产数据的跨部门和跨企业的共享，推动产业的协同发展。在此基础上，企业可以通过有线或无线网络，将人员、设备、物料、方法、环境和测试等元素接入到网络中，以便及时发现或获取相关信息。

3. 典型应用场景建设

在 5G 工厂建设中，需要结合规划方案和 5G 设施建设，串联厂区设备，结合工厂实际业务需要，可从生产管理、设备维护类、仓储物流类等“5G+工业互联网”典型应用场景改造出发，进行典型应用场景的开发建设。

4. 持续深化 5G 工厂建设

企业应对工厂的网络进行改造，设备智能化改造实现设备联网，增加 5G 网络连接工业生产要素的数量。同时，企业可持续深入 5G 技术在工厂中的应用研究，通过与 5G 技术提供商合作，探索 5G 技术在工厂生产、物流、仓储等方面的应用，为工厂提供更高效率、更智能的解决方案。

5G 工厂的建设可推动企业工业体系架构和组织方式的变革，加速“5G+工业互联网”在厂区内的综合应用。企业通过加强工厂生产、运营、管理的能力建设，满足企业提质、降本、增效、安全、绿色发展的新要求，逐步构建 5G 工厂协同发展的网络生态。这种全新的工业互联网生态也将加速传统制造业的数字化转型，为制造业带来革命性的改变。