



制造业专用网络

设计室内和室外专用网络的最佳实践。《颠覆性分析》思想领袖电子书。



Disruptive Analysis



目录

摘要	3
制造业的定义.....	4
主要挑战和市场驱动力.....	5
制造业中的 4G/5G 应用案例	8
为什么要部署专用网络？	14
频谱选择和趋势.....	16



摘要

对于新兴的专用 LTE 和 5G 网络，以及边缘计算和新版 Wi-Fi6E/7 等邻近技术而言，制造业是最有前途的行业之一。

该领域的公司正在部署许多对无线连接带宽、可预测延迟、安全性和正常运行时间要求极高的应用。考虑到明确定义的站点和不断增长的供应商生态系统，制造商正迅速成为私营无线供应商和解决方案集成商的主要目标。

一些次级行业，如大型和高度自动化的生产汽车或电子产品的工厂似乎是最先进的。水泥和钢铁生产等连续加工厂目前采用较少，但中期潜力巨大。小规模或手工制造可能会落后。

与许多行业不同，一些制造企业长期以来一直拥有复杂的网络基础设施，通常与物联网和自动化系统（"OT"或"运营技术"）以及更传统的 IT 和电信需求集成在一起。从历史上看，工业以太网等专业技术以及各种利基和专有无线系统得到了广泛应用。

尽管如此，其他制造商仍然相当"模拟"，采用手工流程和非连接系统。这些企业正在"转型"，尽管各国和各行业的进展情况仍有很大差异。

主要的战略重点领域包括提高生产率、性能、灵活性和质量--所有这些都需要更好的数据、决策和"闭环"自动化行动，而且往往是实时的。

从本质上讲，正在发生的是一种融合：

- ▶ 无线网络正在向标准技术迁移，特别是 4G 和 5G 蜂窝技术。由于频谱和设备可用性的变化，这些技术正变得"民主化"，超越了传统的移动网络运营商，制造商等企业越来越有能力（也越来越愿意）建设自己的专用网络，或委托专业供应商进行建设。
- ▶ 制造业资产正变得更加互联互通、以数据为驱动，并在广泛范围内相互连接供应链。一系列工业转型计划（以及更广泛的社会趋势）正在推动对更多更好的互联互通的需求。

这些因素共同创造了专用移动网络供需的完美契合，满足了 OT 和一般物联网及运营需求。本文概述了工厂和类似工业厂房中 4G 和 5G 的主要用例、部署方案和实现路径。

虽然本报告侧重于专用 4G/5G 的无线电方面，但必须认识到，从核心网络到边缘计算和规划/设计/测试系统等更广泛的生态系统正在与一个庞大的生态系统同步发展。

系统集成商和垂直领域专家。在制造业，5G-ACIA（互联



的定义 制造业

本报告涵盖了众多制造业子行业和场所类型。虽然它们有许多共同的特点和市场驱动力，特别是被纳入工业 4.0 的愿景，但也存在明显的差异。地点的物理大小和布局，以及机械和应用平台、监管和技术保守性。

本电子书涵盖的关键领域包括

- **离散制造业**，指生产单个物品，如汽车和其他车辆、技术硬件、工具和机器、家具、电气和电子设备以及其他各种商品。
- **加工制造业**，涉及制造连续产品流的工厂，包括化学品、化肥、水泥、金属、塑料、涂料和一些食品/饮料行业。
- **为制造业提供辅助服务**，包括产品设计、专业软件、设施安装和维护。



物流、运输和仓储在制造供应链中都非常重要，但将在另一本电子书中介绍。

从广义上讲，流程工业往往需要大型工厂，通常需要连续运行，并可能需要使用易燃液体和高压气体等危险材料。离散制造业的规模更大，小到个体工匠，大到汽车制造厂或半导体制造基地。

需要注意的是，大型工厂和制造厂需要连接的机器和设备种类繁多，从焊接机从室内起重机到移动机器人和传送带系统。有些可以移动，有些

是静态的。有些是旧式（传统）设备，带有非标准接口和最低限度的机载计算/数据功能，而有些则是全新的设备，在设计时考虑到了人工智能和云/边缘控制。在许多情况下，“机器”可能有多个内部联网元件，如摄像头、传感器和控制器，还可以从外部连接到其他机器或外部 IT 系统。

换言之，制造业具有高度异质性。尽管建造电动汽车（EV）的新工厂或新近建成的半导体工厂可能是一个从头开始的“新建”项目，但这只是例外情况，而不是常规。许多联网项目将在现有建筑中，或许可以增加新的机器或流程，或者在现有机器上加装传感器和分析仪。

主要挑战和市场驱动力

制造业对专用网络的需求归根结底是由一系列国家和全球高层变革所驱动的。

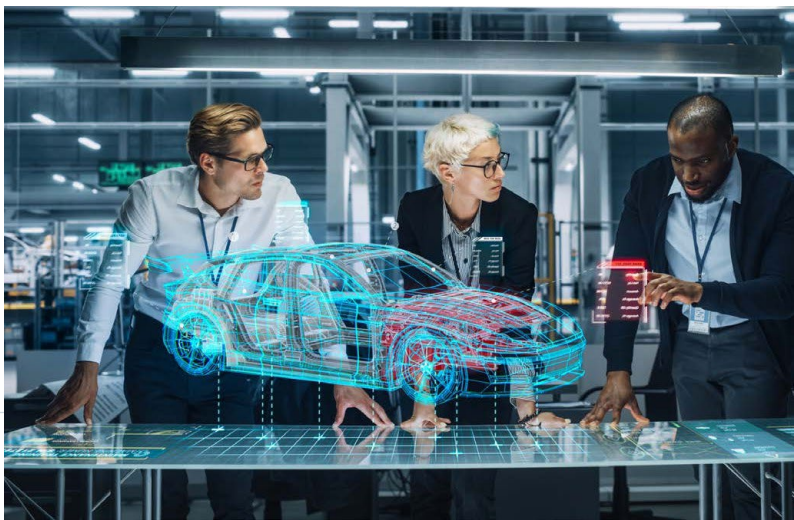
总的来说，这些变化都对连接、控制和信息提出了更高的要求。

这就需要更多的 4G 和 5G 网络，以及 Wi-Fi、光纤和广域网服务。

注："工业 4.0" 往往被用作制造业和其他工业部门各种互联、信息驱动转型的流行总称。它有时也被称为 "数字化"，指的是向自动化、IT 和 OT（"运营技术"）领域的连接以及联网设备和传感器（物联网）作用的增强等广泛方向发展。

制造业的一些关键 "大趋势" 包括

- **自动化和机器人技术：**正如本电子书所讨论的，制造工厂的自动化程度正在大大提高。虽然自动化生产线和机器人并不是什么新鲜事物，但它们的功能正在迅速增强，如快速成型制造（3D 打印）、自动导引车（AGV）和基于视频的质量控制系统，它们可以发现缺陷并提高产量。
- **新产品：**为生产新兴工业产品，正在建设新的制造工厂。一个很好的例子是 "千兆工厂" 的增长如生产电动汽车及其电池的工厂，或生产太阳能光伏电池和风力涡轮机的工厂。还有一些工厂正在进行改装，例如在大流行病期间转向生产个人防护设备的各行各业。因此，灵活的、未来可重新配置的工厂。



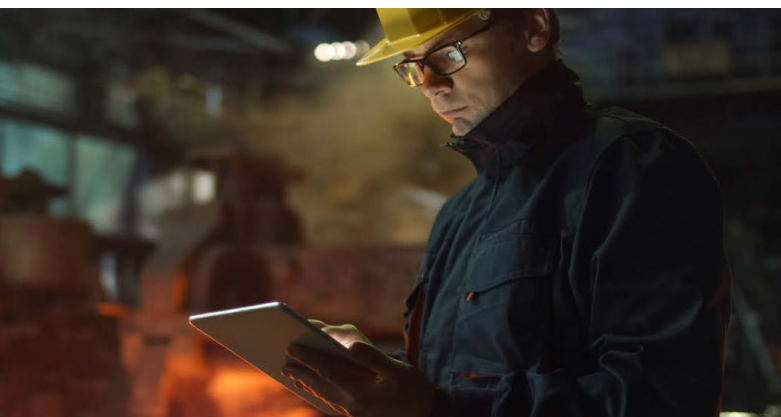
► **软件化产品**：制造业的另一个趋势是将实体产品与软件/云管理和控制相融合。汽车在很大程度上依赖于车载电脑和显示器，以及下载更新的能力。

从消费电器到飞机，越来越多的制成品将由软件驱动。它们需要同时进行测试、更新和配置。

在出厂前和在现场都要进行一次检查。

► **提高员工安全和生产率**：与过去相比，现在对工业事故的容忍度大大降低。利用自动化和更好的信息，工厂业主希望提高工人的生产率

同时提高安全性。安全涉及许多方面，从适当使用机械和工具，到对任何事故做出快速反应，再到改进记录和培训。工人之间，尤其是在工厂的危险区域工作时，必须进行可靠的沟通，既要使用语音（通常是推对推），也要使用无线电（通常是“滴滴”）。



通话），以及对视频通信和可靠访问企业应用的需求日益增长。

► **气候变化和去碳化**：未来十年，随着地球向净零碳排放迈进，许多制造企业将面临深刻变革。旧工厂将关闭，新工厂

大量新方法将改变工业流程。水泥、钢铁、化肥和铝生产等严重依赖化石燃料的行业将需要进行大规模变革。所有新工厂和许多旧系统都需要更多的连接，以进行能源使用监测、控制、数据收集和报告。

► **地缘政治、再转向和供应链弹性**：中美贸易战、Covid大流行病和俄罗斯/乌克兰战争等近期事件凸显了全球供应链（往往是脆弱的）面临外部破坏性事件和进口关税的风险。未来几年，许多国家将为从半导体到医疗用品等产品建立更多的国内或区域制造选择。

► **网络安全**：安全挑战正变得多层次和高度复杂。旧的信息技术和操作系统如果存在漏洞，将得到加强或淘汰，而网络则需要额外的弹性和冗余。如果光纤或其他链路出现故障，无线网络可用作备份。

► **数据和分析**：制造企业正在迅速改造传统的模拟工厂和设备。连接性更好的设备、物联网传感器和视频输入可改善资产管理，实现故障管理和诊断，并优化维护。数据收集将“级联”到整个工厂或整个运营范围的仪表板，使管理人员能够监控整体运营情况，并实时处理故障或供应链问题。

► **新的商业模式**：制造企业正在寻找新的收入来源，以抵消基础设施现代化的成本。许多潜在的新企业都将以互联互通为基础，甚至与外部客户开发“半私人网络”为基础。

► **预测性维护和资产管理**：一台机器或整个制造工厂的停机成本可能是巨大的。利用网络信息和传感器实现“预测性维护”--在问题变得严重之前解决突发问题，或在需要时安排定期维护--而不仅仅是根据通用时间表进行维护，是一个巨大的机遇。例如，增加振动和温度传感器可以在出现异常读数时发出问题“预警”。

所有这些广泛因素以及公司或国家的具体趋势结合在一起，意味着网络需要：

- 大容量、低延迟--理想情况下，延迟可预测（“确定性”），适用于对通信时间要求非常敏感的机器。
- 在可能的情况下采用无线技术，以实现移动性（如 AGV），并提供更大的工厂布局灵活性，而不是将光纤铺设到特定位置或机器上。
- 尽可能实现标准化，拥有多样化的供应链和广泛的技能组合
- 允许不同工业系统之间在网络层和信息传输协议方面实现互操作性，这些系统通常都有各种传统限制。
- 以服务或私人拥有的方式普遍提供
- 安全和弹性
- 既适用于大型制造企业，也适用于小型供应商和合作伙伴，甚至适用于消费者和“亲消费者”。
- 降低（或至少可预测）每个站点或每个用户的成本装置。

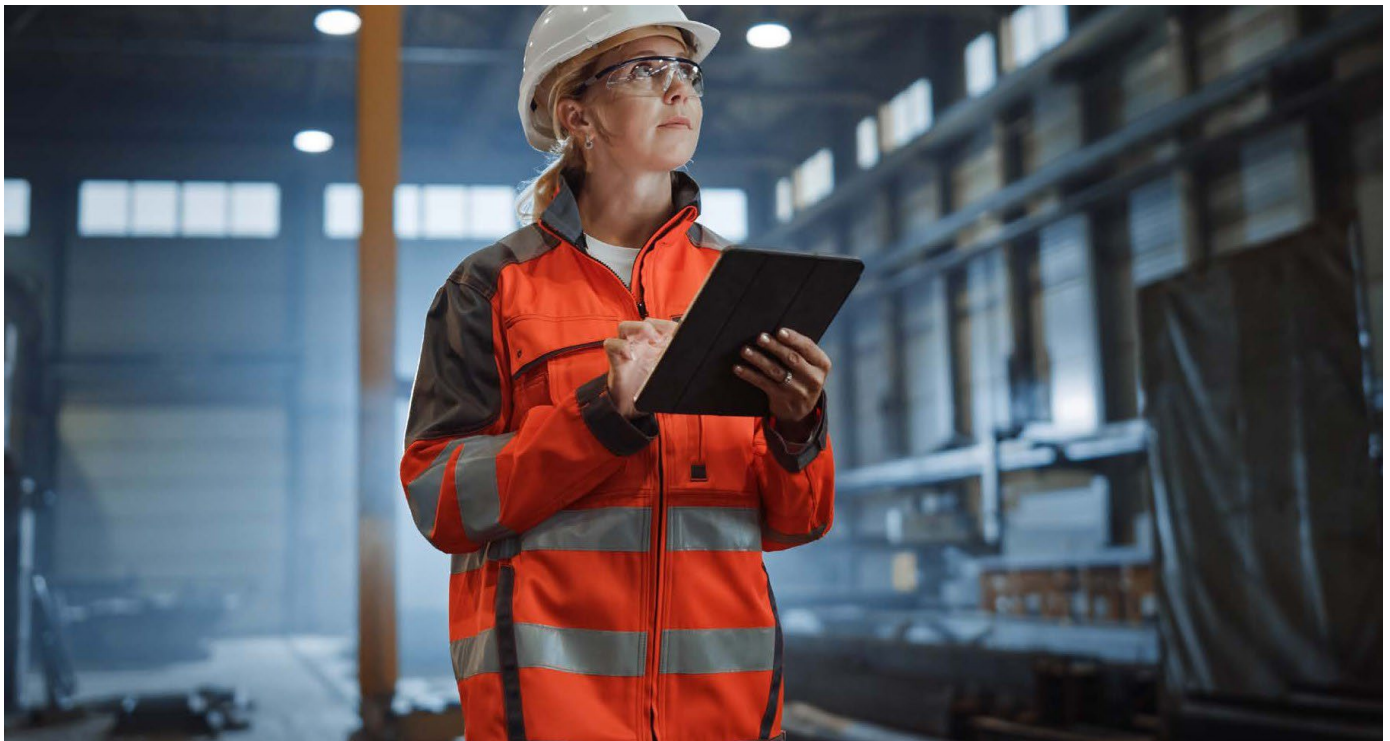
新的网络系统（如 5G 或 Wi-Fi6/6E）也需要与传统的连接类型进行整合。这涉及许多不同类型的网络，包括有线和无线网络。

对于习惯于标准 Wi-Fi 或普通光纤部署的人来说，许多布线类型和通信协议的名称并不熟悉，例如工业系统的 ModBus 和 Profinet 网络，或 MQTT 和 OPC UA 消息传递协议。基于 IP 的网络还远未普及。此外，还有许多关于电气屏蔽、安全等方面的考虑因素和规定，例如焊机可能产生的射频干扰或空气中的金属颗粒。

这意味着采用新的无线技术

5G 和 WiFi6E 等技术的发展需要时间，尤其是这些技术本身仍在不断发展。5G 的许多更“工业 4.0”的功能只有在未来的 3GPP 第 16 / 17 / 18 版中才能实现。这就意味着往往需要结合使用多种技术，并采用各种集成或网关方法。

(此外，在本文件的讨论范围之外，网络管理和控制，包括基于云和边缘的核心网络和运营系统，也在发生着巨大的变化)。





制造业中的 4G/5G 应用案例

鉴于上述行业结构和变化，本报告要解决两层问题：

- 哪些用例适合蜂窝式 4G 和 5G 连接？
- 什么情况下专用 4G/5G 网络比移动网络运营商/运营商提供的公共网络服务更合适？[注：一些电信公司现在向其企业客户提供完全“专用”的网络]

本节重点介绍一些新出现的用途

可以从制造业蜂窝连接中获益的案例，尤其是汽车制造商、电子和化学品生产商，他们可能是目前私人 4G/5G 的最大客户。

虽然总体上可能有数以百计的应用程序，但有些应用程序（如一般办公信息技术）因以下原因而被省略了简明扼要--以下内容是这些行业中许多公司的典型愿望。

工人安全系统

在工厂或其他工业环境中，专用网络的一个重要应用是使公司能够更有效地维护工人的安全。这里有许多需要良好连接的要素：

- 可靠的无线连接安全停止按钮--用于在工人面临危险时停止自动化系统。
- 视频摄像机和分析仪用于确保遵守安全规则（如佩戴安全帽），或主动观察危险情况，如泄漏或烟雾。
- 接近感知系统和虚拟环形栅栏，可使机器人或车辆远离人类工人
- 实时监测工人的健康状况（心率监测、坠落检测等），尤其是在工地最危险的地方，或单独作业的工人。



Disruptive Analysis
Don't Assume

需要连接性的新 IT/OT 应用

工人安全 接近和安全停止 功能	AGV 自动导引车	AR/VR 增强现实与虚拟现实
自动化系统控制工业 生产机械	机器人 机器人装配、焊接等	机器视觉 基于图像的人工智能实
过程监控 监督和闭 环	地点 精确的资产跟踪和定 位	时质量控制 人机界面 人机界面（控制面板）
全站网络 员工通信与	数字双胞胎 传感器数据和虚拟工厂互	视频监控 网站安全

2022 年 3 月 | 版权归颠覆性分析有限公司 2022 年所

根据具体地点的不同，建筑物内部和外部，甚至是地下区域或储藏罐等大型设备内部都可能需要这些功能。

专用 4G/5G 可实现可靠的连接，提供定制的覆盖范围和正常运行时间保证，这在公共网络中是很难实现的。

自动导引车 (AGV)

在许多工业环境中，移动机器人用于在工厂或仓库内或工厂或仓库之间移动材料、设备或部件。出于安全考虑，这些自动导引车或 AGV 通常沿着特定的路径缓慢移动，与人类工人隔开。不过，它们越来越多地使用连接的摄像头或传感器来分析周围环境，以便与人类操作员安全地使用相同的空间。

基于 5G 的制导和控制可使 AGV 在工厂内安全快速地移动，并与传送带、起重系统或充电点等其他机器准确互动。URLLC（超可靠低延迟）功能和车载摄像头可实现边缘云集成和监督，或远程驾驶。

AR / VR 流程和培训

事实证明，制造现场已经成为增强现实和虚拟现实技术的早期采用者--这一领域也开始更名为 "元宇宙技术"。AR 头戴式设备和其他设备可以让操作员在完成复杂任务时无需动手，同时还能看到装配或维护说明和数据

显示在他们的视野中。虽然 Wi-Fi 在这些使用案例中占主导地位，但 4G/5G 对于室外场景或网络拥堵和干扰的场所也变得越来越重要。

设计师可以利用虚拟现实技术将新产品概念可视化，或让他们 "走过 "虚拟工厂，查看和配置潜在的新工艺和机械布局。模拟可以确定人类工人在新工业流程中的行为，或帮助设计师在制作实物原型之前了解新产品的人体工程学。各种培训任务都能从 AR/VR 技术中受益。

4G/5G 连接--以及 Wi-Fi6/6E --也能实现实时 AR 流，并将一些图形任务卸载到边缘计算资源。这就降低了耳机或平板电脑本身所需的处理能力，延长了电池寿命或减轻了所需的重量。

虽然现在很少有耳麦能直接支持 5G，但它们可以与无线调制解调器或 Wi-Fi 接入点相连。

自动化系统

自动化是许多生产设施（尤其是汽车和高科技生产设施）的核心。

有多层计算和通信



在这里，从使用 PLC（可编程逻辑控制器）控制单个机器，到生产线上涉及的广泛的多步骤流程。

所有这些都需要连接。特别是，特定的机器或流程往往有极高的可靠性要求，以及低延迟（和确定性）需求。虽然光纤连接和各种专有解决方案在过去得到了广泛应用，但 5G 在未来有可能提供更大的灵活性和/或更低的成本。但需要强调的是

"纯 5G 工厂"不太可能出现。大多数自动化系统供应商都与多种网络类型合作，为每台机器和应用集成最合适的网络类型。

尽管如此，考虑到 "停机" 的成本，还需要进行严格的测试和部署规划，以确保可靠性。这可能意味着更先进的制造企业会倾向于使用专用的专用网络来实现自动化。

此外，先进的制造工厂也在不断发展。他们正在寻找更加灵活的工厂，生产机械可以移动或更新，而不需要新的光纤。它们正在通过传感器收集更多数据，以提高生产率和预防性维护。这一切都指向更快更好的无线基础设施。

过程监控和供应链管理

比单个生产系统更高层次、规模较大的制造公司希望了解其整个运营情况，这可能涉及多个工厂（可能分散在世界各地）和合作伙伴。

通过 "从头开始" 收集运营数据，并将其整理到横跨多个地点和供应链要素的仪表板中，企业可以能够加强准时制和其他库存管理及性能优化技术。

显然，这将超越私人的 4G/5G 连接--它需要通过所有网络手段收集数据，以及不同生产设施之间的广域链接。

已经有一些 CSP 和云提供商在尝试启用这些类型的解决方案。

私人蜂窝网络已经与各种形式的云计算/边缘计算紧密结合。随着物联网分析技术的广泛应用，这种整合可能还会扩大、

ERP（企业资源规划）系统和其他平台，最终利用专用网络、传感器和实时数据馈送。

机器人

虽然汽车制造等一些行业早已广泛使用机器人系统，但许多其他分行业的自动化程度还远远不够。

现在出现了各种趋势：

- ▶ 随着成本的降低和自动化要求的提高，机器人在更多制造业中的 "民主化"。
- ▶ 工业机器人的互联性和仪表化程度越来越高，配备了额外的传感器、摄像头和反馈系统，以及大量数据/遥测馈送。这就需要实时连接。
- ▶ 改变某些行业的生产流程，如制造电动汽车所需的新型精密焊接机器人。
- ▶ 提高机器人的机动性，将其作用与上述 AGV 的作用相融合。

所有这些都促使机器人技术需要更多（更好）的无线连接



此外，5G 不断改进的定位/定位能力使人类与移动机器人之间的近距离感应更加准确。未来，我们还可能看到 "半人马"--机器人与人类合作完成特定任务。

机器视觉质量检测

视频在生产过程中的应用越来越广泛。摄像机用于生产线检测，可减少损耗、改善最终产品质量并提高产量。

各种人工智能增强型方法可以分析模式或检测裂缝等缺陷，而这可能是人类工人无法做到的。内部或另一个边缘计算站点的机器视觉系统可以分析图像，找出错误的焊缝或其他问题的红外特征。

增材制造（3D 打印）或精密焊接等技术需要对质量进行密切监控

在加工过程中。这样就能立即纠正错误，或剔除部分成品，而不会出现以下情况



浪费更多的时间或昂贵的材料。然而，这需要快速传输和处理大量数据，因为纠正问题可能需要在几毫秒内完成。

5G 的可靠性、延迟和吞吐速度非常适合高清摄像机的实时视频流传输，尤其是在光纤连接比较困难的地方。

这是专用 5G 的核心用例，尤其是因为这些功能往往位于室内，而且由于建筑物的机械、混凝土和其他结构部件的原因，这些区域需要定制的网络覆盖。

精确的资产位置和定位

在生产环境中，资产定位和实时定位有许多用途。机器人和 AGV 需要将物料从仓库货架或其他仓库的特定位置运送到特定的机器或传送带上。它们需要与充电站准确对接，准确定位任何故障，并确保与人类和精密机械保持安全距离。需要跟踪和定位工具以及其他资产，例如经常移动的手推车。

这不仅能提高生产效率和资产利用率，还能通过在指定范围内设置 "地理围栏" 来降低盗窃风险。跟踪技术还有助于预防性维护，确保物品存放在正确的位置。

使用各种无线技术（包括私人部署的 4G NB- IoT）进行资产跟踪已经成为可能，但实时定位，尤其是在室内进行实时定位却很困难。

5G 的后期版本，尤其是 3GPP Release 17 之后的版本，将允许高精度的位置跟踪，精确到厘米级定位。在精心设计的专用网络上，这将在制造业中具有多种用途。

移动控制面板

在工业环境中，控制面板（也称为 HMI - 人机界面）是一种电子显示器

它允许操作员监控从单个机器到整条生产线的自动化系统。它们通常还支持安全停止按钮，以便在危险情况下进行即时干预。

在许多情况下，人机界面都是直接与系统相连的，但越来越多的人希望实现无绳操作，无线连接使这些设备看起来就像传统的加固型平板电脑。

虽然这些面板可以使用 Wi-Fi，但在某些情况下，5G 的可靠性和低延迟功能可能更具优势，而且这还意味着它们可以供远程或户外工作人员使用。

与本节讨论的几个用例一样，此类控制面板的安全关键性往往使专用 5G（在可能的情况下）比公共网络更受欢迎。

全站网络和员工通信

目前，许多制造行业部署的专用 4G/5G 网络往往只用于特定建筑物，甚至用于个别流程或机器。然而，与港口等其他行业一样，随着时间的推移，一些整个工厂将配备全厂（或“园区”）网络，可能同时覆盖室外和室内区域。这种网络可以实现多种应用和服务功能，但覆盖范围更广。例如，可包括：

- 运行，如资产监控/定位、对相关环境问题（如天气状况）的“态势感知”或全场范围的车辆控制。
- 安全和安保 - 摄像头、入侵探测、消防和烟雾报警器等。
- 通用信息技术，如室内外现场员工的互联网和云连接，或零部件和材料的供应链管理。
- 劳动力通信，如语音或视频对讲 (PTT)、警报系统以及各种形式的协作和“统一通信”。

为此，需要覆盖广阔的区域，最大的制造工厂可达几公里，仓库、车辆和工厂内部也是如此。蜂窝式 4G/5G 网络比传统的全场甚高频无线电或 PMR（专用移动无线电）系统更加灵活，并支持容量大得多的数据应用。Wi-Fi 可用于小型工厂，但在大型设施中的可行性较低。

智能传感器和数字双胞胎

“数字孪生”是真实机器或整个工厂的虚拟伙伴。通过在自动化系统或其他生产资产上安装传感器，并通过通过直接从控制器捕捉数据，可以创建真实设备的模拟版本。

这对“双胞胎”可用于调整性能和输出，观察即将出现问题的迹象并进行预防性维护，或优化能源使用等方面。通过比较多个类似设备的数据，可以发现操作员的错误或设计缺陷，从而进行修复或改造。

此类系统有各种各样的连接要求，这显然取决于移动性等因素。与直觉相反的是，一些老式机械可能会使用外部无线连接传感器（如温度/振动监测器），而较新的系统可能会有线连接此类功能。

虽然这类使用案例有许多不同的无线选择，但 5G 在传感器容量、可靠性和每个基站支持的仪表密度方面具有潜在优势。它还能支持视频或激光雷达传感器等高带宽输入。



视频监控系统

制造企业对视频监控以及基于视频的生产系统和质量控制有着巨大的需求。这些系统可监控火灾、入侵、盗窃或其他非法行为等安保和安全风险。

在室内和室外都有可能在大面积场地上开展活动。室外

例如，许多制造公司都有大片区域存放车辆或贵重材料。航空和造船等一些行业有明显的安全问题，而一些行业则面临地缘政治行为或间谍活动带来的额外风险。

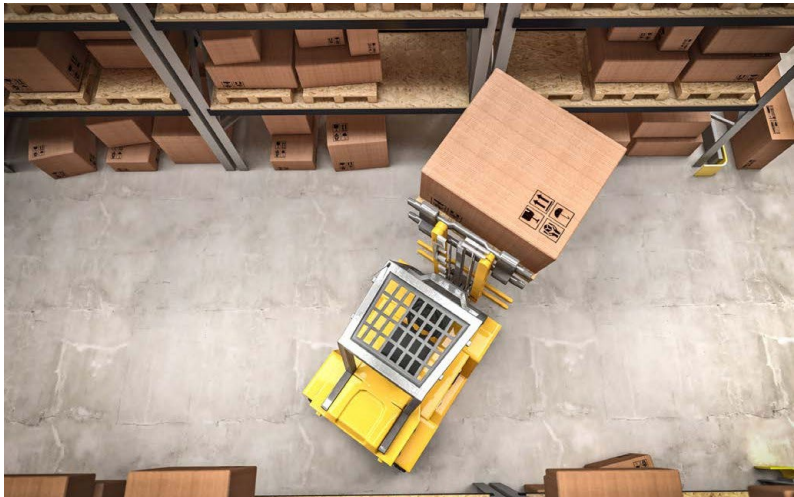
4G 和 5G 的无线连接为高分辨率成像提供了更大的容量，并减少了延迟。摄像头越来越多地连接到车辆、机器人和无人机等移动资产上，这显然需要无线接入。随着时间的推移，边缘计算与机器视觉将实现更多的自动化。



其他用例

专用网络还有许多其他用途。其中一些将高度针对特定部门。其中一些例子包括

- ▶ 无人机检查设施，例如检查化工厂的泄漏和腐蚀情况。
- ▶ 在车辆下线时，将无线软件下载到成品车上。
- ▶ 罐内使用的便携式专用网络
在清洗和维护反应堆容器时。
- ▶ 在 "中立主机 "的基础上，为员工和访客提供一般无线连接，尤其适用于超出普通公共蜂窝网络范围的制造工厂。
- ▶ 从中心大楼到工地上其他偏远地点（如警卫室或仓库）的固定无线接入。



为什么要部署私人网络？

上述第二个问题是本报告的核心。为什么这些用例更适合专用 4G/5G 而不是移动网络运营商的公共网络服务？

从整个行业来看，有许多公司和场所的具体原因促使企业寻求专用无线解决方案。不过，大致的模式还是显而易见的。

颠覆性分析法有五个最高级别的理论依据可供讨论私人 5G：

- > 覆盖范围
- > 控制成本
- > 云计算集成
- > 补偿（或货币化）

下文将详细介绍这些内容。



Disruptive Analysis
Don't Assume

需求：私营蜂窝电话的 5 C...

覆盖范围	控制	云	费用	赔偿
楼内	安全	边缘计算	取代传统 LRM / 固定链路	生产率
农村/偏远地区	主权	最低延迟	工厂 4.0	私人 SIM 卡
工业	定制	IT/5G 整合	纤维更换	漫游
办事处	超越 Wi-Fi	云市场	避免运营商按 GB 收费	本地 MVNO
公路/铁路	部署	物联网平台中的 5G	物联网连接的	政府资助
公用设施	生命周期	数字双胞胎		当地 FWA
大城市地区	流动性			
军事/政府	专用服务质量			

制造业的主要原因

2022 年 3 月 | 版权归颠覆性分析有限公司 2022 年所

覆盖范围

使用私营 4G/5G 而非公共移动网络运营商服务的一个核心原因是网络覆盖的限制。移动网络运营商往往将网络资产部署在人口密集区或主干道沿线。

由于工业区往往远离主要人口中心和住宅/商业区，因此制造公司设施的覆盖范围往往相对较小。

此外，由于工厂建筑普遍使用金属和混凝土，与其他场所相比窗户较少，以及存在各种形式的屏蔽和管道，因此厂房内的覆盖率特别低。

控制

这是制造企业专用网络最重要的方面。许多公司，尤其是汽车和电子等行业的大型公司或高科技公司，任何停机时间的成本都非常高，而且对数据资产的保护也非常严格。

拥有和运营 4G/5G 无线系统使企业能够自行定义和优化许多网络参数，直接负责安全性、可靠性、性能和报告。它们还可以直接与其他 IT / OT 和网络系统集成，特别是在涉及传统协议、电信公司缺乏相关知识和经验的情况下。

他们可以根据特定行业的最佳实践和法规，选择自己的冗余和网络安全机制。对于流媒体视频或低延迟电网控制等要求苛刻的应用，他们可以定制和优化无线电资源管理和冗余。

从长远来看，企业有可能从公共移动网络运营商的 5G 网络中 "分一杯羹"，并获得更好的控制和服务级别协议，但这仍是一种未经证实的模式，而且取决于未来版本的 5G 技术。同样，通过 "漫游" 连接专用网络和公共网络的吸引力也值得商榷--机器人不会离开工厂，而卡车和工人的智能手机很可能支持多个 SIM 卡。

成本（和风险规避）

许多制造企业传统上只能在现场有限地使用公共 4G/5G 网络。虽然他们为员工智能手机和车队使用了普通的蜂窝网络合同，但将公共网络转换为专用网络用于工厂自动化或其他类似用途的余地相对较小。

相反，私人蜂窝网络可能节省的成本更多与光纤线路的迁移有关，特别是对于可能会移动的机器或周边安全摄像机等远程连接。

虽然一般的工业 4.0 模式也应改善制造商的经济效益，但纯粹由其驱动的方面相对较少通过专用蜂窝网络连接--大多数也可以通过 Wi-Fi 或其他连接方式启用，尽管在某些情况下可靠性可能较低。

云

在整个制造业中，私人无线网络与以下方面的联系日益紧密

云平台，特别是使用内部部署或近端边缘计算。这里有两个相互关联

的趋势：

专用网络由边缘服务器直接启用，边缘服务器可托管网络核心等软件元素，并通过虚拟化和容器交付。

上文作为私人 4G/5G 用例讨论的许多应用本身都可以利用边缘服务器以及基于超大规模云的物联网和人工智能工具。物联网监控、预防性维护和 "数字双胞胎" 就是很好的例子。

最近几个月，许多最大的云计算公司都宣布了围绕私有 4G/5G 的计划，或直接向企业销售，或与系统集成商和移动网络运营商合作提供混合解决方案。

补偿/货币化

与机场或房地产公司等某些行业不同，制造公司直接利用私有 4G/5G 盈利的空间有限，例如向租户提供连接服务，或向公共 MNO 提供中立主机功能。

某些大型制造商--例如工业自动化设备或建筑/采矿系统供应商--可以将专用蜂窝网络直接嵌入其向制造业客户销售的解决方案中，或在有可用频谱的市场中充当 "工



频谱选择和趋势

概述

制造部门专用网络的一个关键要素是获得合适的 4G/5G 频谱。这一领域涉及覆盖范围、容量、成本、设备可用性以及政治和监管等多方面的权衡。

这也直接关系到由企业或专家运营的 "纯" 专用网络与由主要运营公共 4G/5G 网络的主流电信公司作为托管服务提供的网络之间的相关性和潜力。

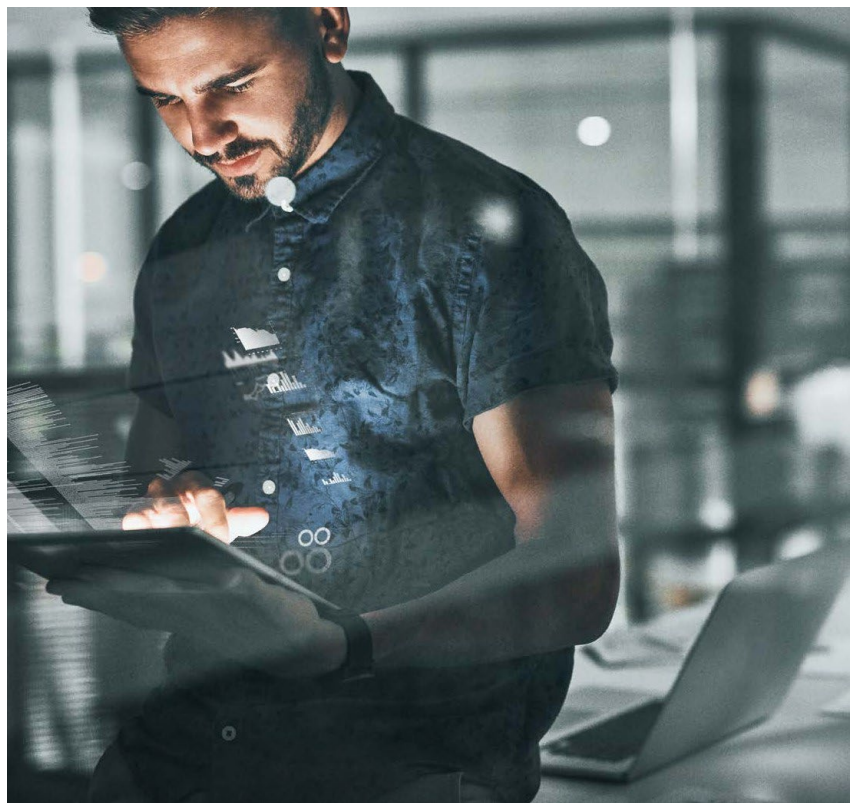
从历史上看，适合蜂窝网络使用的大部分频谱都是以地区/国家为单位授予公共移动运营商 (MNO)，通常是通过拍卖的方式。

历史上，如果没有罕见而复杂的租赁安排，制造商几乎无法直接使用这些主流频段，而其他频率范围则很少有无线电或设备可用。但现在这种情况正在发生变化。随着各国监管机构提供地方许可证或各种形式的共享频谱，以及设备 / 芯片公司也开始支持它们。

与此同时，移动网络运营商对一系列新的参与模式持更加开放的态度，包括创建与其主要宏观基础设施无关的私有园区网络--实质上，充当定制项目的系统集成商。

对于专用网络，大致有三种频谱选项：

➤ **低频段**：有时可提供低于 1GHz 的薄片频谱，适合覆盖广阔区域，但容量较低。这些选择往往最适合关键通信（如对讲推送）或窄带传感器数据和控制系统。



➤ **中频段**：对于适合工厂和制造厂的室内和校园范围的覆盖，2-6GHz 之间的中频段频谱通常是最佳选择。目前，私人 4G/5G 的大多数部署都是在这一频段进行的。

➤ **毫米波频段**：毫米波频段通常在 26-60GHz 范围内，更高的频段已被广泛讨论用于 5G，但仍然很少见--尽管未来它们可能会被证明对需要巨大带宽的高度集中应用特别有用。额外的 "净空" 也使创建超低延迟网络变得更加容易。

以下各节将更详细地介绍其中的一些内容。
在世界各地提供特定的乐队。

CBRS 和其他中频段选项

为了实现特定地点或区域覆盖，越来越多的国家向制造公司（以及其他企业）提供部分中频段频谱。这通常是基于某种形式的频谱共享，对特定区域和频段权利进行手动或数据库驱动的许可。工业 4.0 倡导者是说服政府和监管机构相信其潜在经济效益的最有力声音。



其中最重要的例子有

初的 DECT

- ▶ **美国**：在美国，3.55-3.7 千兆赫之间的 CBRS 频段以共享和多层次的方式提供，由一些自动 SAS（频谱接入系统）提供商管理动态接入。最高级别的现有用户（尤其是海军）拥有最终的优先使用权，但一些企业（尤其是约翰迪尔）已经获得了 PAL（优先接入许可证）几乎可以保证以县为单位接入频段。这非常适合私人网络，并可通过按需使用 GAA（一般授权接入）层级加以补充。目前，只有 4G LTE 设备可随时与 CBRS 配合使用，但在未来 1-2 年内可能会扩展到 5G 产品。该频段已经吸引了大量生态系统，可能是最接近 "按需频谱 "和专用网络广泛民主化的频段。
- ▶ **德国**：3.7-3.8GHz 频段已预留给本地专用网络许可，可使用 4G 或 5G 基础设施。许可证持有者可以申请从国家监管机构获得的具体地点--通常是校园规模的设施。制造企业，尤其是汽车和工程行业的制造企业，是最热衷于利用这些设施的企业之一。
- ▶ **法国**：2.6GHz 频段的 40MHz 部分已提供给关键通信和工业宽带使用。虽然最初的用户主要是机场和铁路等 "基础设施 "组织，但现在已转向在 2021 年和 2022 年初进行生产。此外，部分移动网络运营商的 5G 中频段 3.4-3.8GHz 具有与以下设备合作的监管授权企业的专用网络。
- ▶ **英国**：3.8-4.2GHz 频段可用于本地 5G 使用，但要保护现有的许可证持有者。1.8GHz 频段也有少量分配（最

保护频段) 和 2.3GHz 频段。EE 和沃达丰等公共移动网络运营商也在进行本地专用网络部署，包括为制造业部署网络。

- 日本：4.6-4.9GHz 频段可用于本地 5G
- 台湾：4.8GHz 频段的频谱可用于私人 5G。

欧洲其他一些国家和欧盟监管咨询机构 RSPG 也建议将 3.8-4.2GHz 频段用于未来可能的共享/企业使用。西班牙、印度和沙特阿拉伯等许多其他国家也正在就适合工业的中频段方案进行监管倡议或磋商。

其他市场则有可能在当地租赁移动网络运营商分配的全国频谱（例如在澳大利亚、瑞典和丹麦），或让专门从事工业网络的区域运营商在人口稀少地区获得普通许可证（例如在加拿大部分地区）。

主要的例外可能是中国，因为中国仍倾向于向移动网络运营商发放国家许可证。

值得注意的是，2.4GHz、5GHz 以及越来越多的 6GHz 非授权频段也有可能用于私人 4G/5G--尽管缺乏干扰保护可能会限制关键任务应用的范围。

1GHz 以下选项

低频段频谱与制造业的相关性有限，因为它主要适用于广域通信，如公用事业公司的推送对讲网络。不过，它可能适用于超大型制造工厂或分布式多站点设施。

区域范围广。其室内/地下性能良好
在某些情况下，传播也可能对物联网有用。

一些市场已经提供了这种带子。

- **美国：**根据联邦通信委员会 2020 年的一项裁决，一些许可证持有者可以使用 900MHz 频谱，其中 6 兆赫用于宽带，4 兆赫用于窄带。其中，一个主要的频谱持有者 Anterix 与一些地方公用事业公司合作，创建合适的基础设施。目前还不清楚是否也会扩展到制造业。
- **挪威：**一些石油和公用事业公司持有 700MHz 和 900MHz 频谱，用于私人近海网络--但同样，这也能与某些面向能源行业的专业制造商有关。

此外，还可以在各种许可或非许可的 sub-GHz 分配中使用 4G 的窄带物联网版本（NB-IoT 和 LTE Cat-M）。

毫米波

包括德国、英国、芬兰、马来西亚和日本在内的一些国家已提供 26GHz、28GHz 或其他高频段频谱供本地使用。在美国、意大利和韩国，一些移动网络运营商也在研究毫米波专用网络的商机。这主要针对工厂、仓库和矿井等室内/校园场所。关键用例是本地高容量使用，如远程驱动车辆或高清摄像机，特别是安装在车辆或机器人上的摄像机。



Disruptive Analysis

Don't Assume

为非公共 4G/5G 推出新频段



2022 年 3 月 |

4G 5G

无线网络正在向标准技术迁移，特别是 4G 和 5G 蜂窝技术。



结论与长远未来

制造业很可能成为主流采用专用蜂窝网络的领导者之一。它使专用 **4G/5G** 不再局限于需要 "关键通信 "的早期采用者领域，而更多地进入了物联网/OT（操作技术）连接领域，以及更传统的 IT 类应用领域，可与目前使用的 Wi-Fi 相媲美。

虽然本报告侧重于专用 **4G/5G** 的无线电方面，但必须认识到，从核心网络到边缘计算和规划/设计/测试系统等更广泛的生态系统，以及大量的系统集成商和垂直专家都在同步发展。在制造业，**5G-ACIA**（互联工业和自动化联盟）等组织正在定义最佳实践和标准化术语。

企业级 **5G** 技术日趋成熟，加上更广泛的本地或专用频谱可供企业使用，这表明未来许多年仍将保持健康的发展势头。到 **2025** 年，制造业中的专用网络可能会达到 **1000** 个，甚至上万个。

然而，尽管各子行业和国家之间存在相似之处，但具体的使用案例和部署方案可能会有很大不同。一些市场主要为企业释放中低频段频谱，而另一些市场则更注重毫米波或新的非授权选择。

尽管如此，应该指出的是，许多大型制造商将采取谨慎和循序渐进的态度，通过分阶段试验和中型现场部署逐步引入专用蜂窝网络。目前，许多站点仅在特定楼宇，甚至单个机器或应用中使用专用蜂窝网络。

此外，虽然新建的生产基地可能是 "**5G** 主基地"，但在大多数情况下，都会存在以下问题
其他网络技术的大量安装。这包括各种版本的固定以太网和 **Wi-Fi**，以及各种专用工业系统。此外，还有许多现有的**供应商**，如工业自动化公司，通常会充当（通常是自有品牌的）连接系统的渠道商或集成商。**5G** 产业需要融入或围绕这些现有供应商。

表：制造企业私有 4G/5G 部署/试验实例

公司名称	国家	部门/目的	光谱/业主
约翰迪尔	美国	拖拉机和建筑设备	用于 4G/5G 的 CBRS PAL
伍斯特博世	英国	消费电子产品（传感器和机器人）	在 2.6GHz / 3.4GHz 频率下进行试验
福特	英国	汽车（新型焊接试验等）	沃达丰许可频段
福特	美国	汽车（电动汽车工厂的多种用途）	美国电话电报公司频谱
英业达	台湾	IT 硬件（光学检测、AGV）	可能是 4.8GHz 本地 5G
大众汽车	德国	汽车（智能工厂试验）	3.7-3.8GHz 本地许可证
海尔	中国	电子消费品（光学检测）	不清楚 - 中国移动
诺基亚	波兰	电信设备（AGV、传感器、通信设备）	波兰橙色频谱
布塔基米	法国	化学品（资产跟踪与通信、4G）	2.6GHz
富士康	美国	电子设备（AGV、机器人等）	CBRS
宝马	德国	汽车（多个工厂和应用）	可能为 3.4-3.8GHz
科尼集团	芬兰	起重机（港口试用，如移动摄像机）	不清楚。可能是 3.4GHz
AS Plastik	克罗地亚	车辆部件（工厂自动化）	不清楚
安赛乐米塔尔	法国	钢铁（多个站点/使用案例）	不清楚，可能是 2.6 + 3.4Ghz



www.ibwave.com