

基于新一代通信技术的智能轮胎工厂建设研究与实践

于伟峰，张辉，朱绍卿，韩港

(万向新元科技股份有限公司，北京 100085)

摘要：以5G为代表的新一代通信技术，以其低时延、大带宽的特性，可实现全工序、全场景的工业无线互联。而近几年来，国家从政策层面对5G全连接工厂、工业互联网的支持力度越来越大，也为企业的转型提供了重大利好。万向新元立足于自研的5G工业专网基站以及工业互联网平台技术，深耕智能工厂解决方案，本文根据这些案例和经验，探讨以5G为代表的新一代通信技术在智能轮胎工厂中的应用。

关键词：5G；全连接；轮胎；智能工厂

中图分类号：TQ330.8

文献标识码：B

文章编号：1009-797X(2026)03-0024-05

DOI:10.13520/j.cnki.rppte.2026.03.005

1 概述

国内轮胎市场竞争日益激烈，在生产过程中采用智能化升级以达到降本增效将是必然的选择。以5G为代表的新一代通信技术的出现，以其高速率、低时延、大容量等特性，为制造业的智能化转型提供了强有力的技术支撑。近几年各级政府对于制造业的智能化转型给予了高度重视，并出台了一系列政策进行支持和引导，为5G在智能轮胎工厂的应用提供了良好的政策环境。

依托于工厂自建的5G专网，有如下特点：

(1) 专属覆盖方案：采用运营商的4G、5G公网，由于周边基站除了覆盖本轮胎厂，还要兼顾周边工厂、居民区、公路的覆盖，以及上级运营商的例行性网络测试，需要经常基站天线下倾角、方位角、发射功率、算法参数，无法保证本厂区覆盖。与之对比，5G专网基站专门针对特定工厂，基站相关的无线参数可针对工厂无线环境、覆盖要求、业务特点进行针对性的优化调整。

(2) 网络运维更贴近生产：采用公网传输生产数据，在遇到丢包、中断或延迟问题时，很难进行责任划分和问题定位。公网根据其业务需要，往往会出现突发性的网络升级维护，在此期间会有短期的网络中断或降速，影响工厂生产。

(3) 网络完全隔离：拥有独立核心网，包含完整的鉴权、计费、开户、用户面管理等网元，可实现数

据不出工厂、信令不出工厂，同时解决了公网高额月租的成本问题。

(4) 低时延高可靠：时延、丢包率比传统无线方案更低，并且，作为一种移动通信系统，支持完善的切换流程，跨小区时切换时延控制在几十毫秒内，更适合AGV叉车、机器人的运作。

2 5G专网无线覆盖方案

2.1 硬件方案

传统的Wifi AP方案，由于发射功率小，需要部署较多点位，而轮胎生产环境有其特殊性，温度较高，空气中往往充满导电性炭黑，有些防护等级有限的AP，经过长时间运行难免容易出现故障，维修和更换流程又往往涉及到登高操作，较为繁琐，增添了运维成本。

而5G基站设备的发射功率涵盖多个等级，可选的解决方案更丰富。针对工厂的覆盖，目前有两种基站方案：一种是采用BBU+微功率的picoRRU，另一种是BBU+大功率RRU，如图1所示。

作者简介：于伟峰（1982-），男，本科，高级架构师，拥有16年的4G、5G专网研发经验，以及丰富的行业信息化、智能工厂方面的经验，负责设计的智能工厂方案曾获得工信部及省厅级奖励多项。出版著作1部，在国内外期刊和会议发表论文多篇，参与国家科技重大专项（03专项）2项。

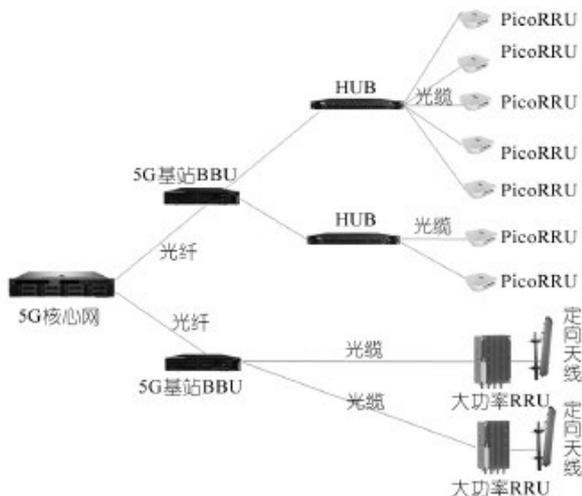


图1 典型的5G网络设备拓扑

微功率 picoRRU 发射功率一般在 500 mW~1W，与 Wifi 发射功率相差不大。根据布设高度、现场遮挡情况，一般覆盖半径在 15~30 m，以其“多点位、小功率”的特点，适合办公楼、以及遮挡不严重的厂房，以及个别区域的覆盖补盲。每个 BBU 最多可以外挂 32 个 picoRRU。而大功率 RRU 发射功率一般在 40 W 以上，根据天线架设高度、现场遮挡情况，覆盖半径可达 100~300 m。每个 BBU 可以外挂 3~4 个大功率 RRU。这两种硬件方案各有优势，互为补充。图 2 为新元所承建的某个轮胎工厂 5G 项目，室外型大功率 RRU 放置于办公楼楼顶，与通信机房之间通过光缆相连，天线正对需要覆盖的厂房，只需少量点位即可完成整个产线的覆盖，点位少，日常维护简便，无需登高操作。

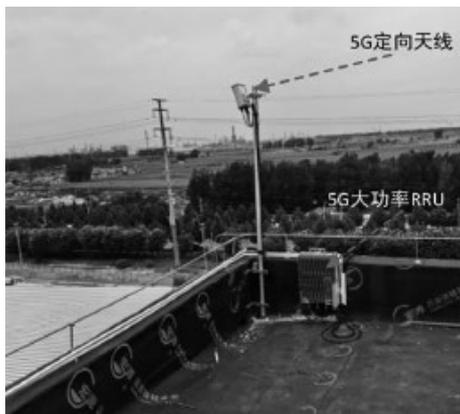


图2 布设于楼顶的5G大功率RRU和定向天线

2.2 站址选择

5G 核心网服务器、基站 BBU 一般放置于工厂当前已有的通信机房，与机房原有设备共用市电、机柜

等资源。如果采用大功率 RRU 方案，在厂房附近楼顶安装大功率 RRU 和天线，并且天线朝向需要覆盖的厂房区域，根据实际需要灵活调整发射功率和天线角度。

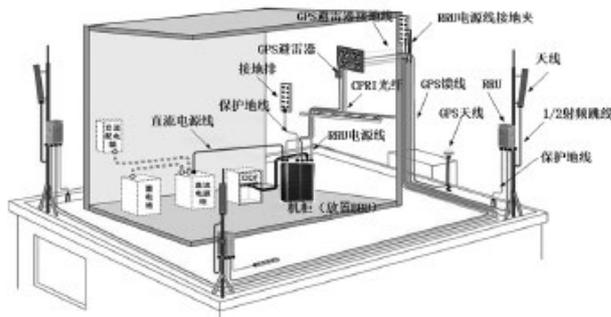


图3 一个典型的5G大功率基站机房与楼顶天窗

3 典型应用场景

轮胎的生产过程复杂，批次切换频繁，工艺约束复杂，生产现场高温高湿、人员车辆活动频繁。因此轮胎企业的智能化转型需要围绕人流、物流、生产过程三大要素，实现无人化、少人化、安全、柔性生产，以及生产、仓储、物流环节的无缝衔接。5G 专网作为工厂的通信底座，可以实现：

(1) 5G+ 数据采集与控制：5G 工业终端通过网口、232、485 等接口连接各类传感器，可以对生产数据实现“应采尽采”，例如颗粒物、有害气体数据采集。在布线不便、恶劣的环境下，以及需要临时性采集、监控的场合，5G 可以为各类传感器提供便捷的数据传输通道。

(2) 5G+AGV：将内置的传统通信终端替换为 5G 终端，解决了传统无线网络下的干扰和丢包问题，AGV 叉车和堆垛机器人可实现更快、更可靠的响应，实现立体仓库与各工序、各生产线的物流衔接。5G 工业终端可直连、或通过原有车载交换机连接 AGV 叉车的 PLC、控制屏、电源、显示屏等各个子系统，通过外置高增益天线解决叉车壳体对 5G 信号的屏蔽问题。



图4 AGV叉车内置的5G工业终端

(3) 5G+MES:以 5G 打通 MES、PLC、AGV 叉车,实现生产指令下发、自动取配料,并与扫码枪、APS、PLM、ERP 等子系统实现无缝衔接。

(4) 5G+ 视频监控:一个典型的轮胎工厂,厂区内摄像头数量数百乃至上千,虽然大部分摄像头的视频数据可通过有线网络回传,但仍然存在某些场景,需要无线视频回传作为辅助,例如,一些高温、充满腐蚀性气体、布线不便、或者临时性监控的场景,以 5G 作为回传通道更具性价比。

(5) 5G+UWB 高精度融合定位:实现亚米级的人员与资产定位,解决现场的人员与资产混乱、丢失问题。例如,轮胎厂内有大量的胎胚小车,摆满了各种型号、批次的胎胚,定位和管理难度大,给胎胚小车上加装定位标签后,可以极大提升小车管理效率。高精度定位信息还可与 5G 高清摄像头、安全生产系统、门禁安防、电子围栏等子系统之间实现融合和联动,当发现异常人员出现在危险区域时,会自动产生报警,同时摄像头会跟随联动,通过视频进行记录。当重点或危险区域出现人员聚集,系统自动告警。

(6) 5G+ 集群调度:工厂一般会配备对讲机以实现对讲指挥,但传统对讲机音质较差,且只能传输语音,无法传输视频,而现场遇到的复杂问题,有时仅靠语音往往无法表达清楚,这就需要可视化对讲、可视化组呼。在工厂内部署 5G 后,5G 对讲手台可替代传统的对讲机,无需拨号,一键实现可视化的单呼、组呼,组呼发起者一键即可将自己的音、视频同步发给组内的各个成员,并可以通过 5G 调度台进行任意的编组、管理和高优先级抢占,实现生产线的“一呼百应”。

4 面向 5.5G 的演进

国际标准组织 3GPP 也在不断推动 5G 技术向 5.5G、6G 的平滑演进。随着 3GPP Release 18 版本的标准冻结,一些面向工业场景、堪称 5.5G 技术的演进功能,已日臻成熟,势必将为 5G 工业场景注入更多活力,这其中与工业场景密切相关的技术包括:

4.1 Redcap (轻量化 5G)

RedCap 全称为 Reduced Capability (降低能力),即轻量化的 5G 终端,RedCap 主要通过降低 5G 速率等能力进行精简,以便精准适配中低速物联场景,提高设备和网络的性价比。许多物联网应用没有高吞吐量和严格的延迟要求,但成本和功耗是这些应用的重要

考虑因素。一些典型的数据采集和控制场景,单个终端的速率要求几百 Kbps,最多不超过 10 Mbps,对时延要求也并不苛刻,几百毫秒即可,这些场景中,如果用标准的 5G 工业终端,上传下载速率几百 Mbps,时延 20 ms 以内,性能浪费较大,成本高。针对这些低速应用,Redcap 通过降低数据传输速率来削减天线数量,采用半双工通信替代全双工通信,从而降低信号处置的复杂度,也更节能。相比传统 5G 设备,RedCap 预计可使 5G 工业终端成本降低 30% 以上。当工厂的 5G 终端部署数量较多时,Redcap 将带来显著的成本降低。

4.2 双路径冗余

无线通信由于终端的切换、环境中的遮挡、电磁干扰、数据量大等因素,会造成丢包率和时延过高,在高实时性、控制类等应用中,高丢包率和高时延往往不能被接受。即便在 5G 系统中,这些因无线环境问题带来的时延和可靠性问题也难以避免,而在轮胎和化工行业中,数据传输的时延和可靠性是关乎着生产安全和效率的大问题。出现了多路径冗余传输的思路,目前业内已有多种技术方案。新元开发了针对工厂需求的 5G 双路径终端,极大优化了工厂数据传输过程中的时延和可靠性。该产品将丢包率降低到了普通 5G 终端传输的 1/10,将时延降低到了普通 5G 终端的 1/3,解决了工业控制系统上 5G 的后顾之忧,让工厂用得起、放心用。该终端内置两个通信模组(支持 5G+5G、5G+4G、5G+Wifi6 等不同方案),在通信过程中,发送端通过 FPGA (现场可编程门阵列)芯片,以极低时延实现数据的即时复制、对齐、时间戳标记和双路发送,接收端通过可编程逻辑芯片内的算法,实现双路数据的智能选路和冗余数据包的丢弃。该终端的 CPU、基带芯片、FPGA 均基于国产化芯片方案。

4.3 5G LAN

很多工业设备通信协议多用二层的以太网协议,与三层 IP 协议相比,以太网协议的优势在于不需要进行复杂的路由计算,因此具有更高的通信效率和更低的延迟。此外,二层协议也更加安全,因为其可以通过 VLAN 技术进行物理隔离和逻辑隔离,有效避免不同网络之间的干扰和攻击。因此,在工业以太网领域中,一些协议并没有定义网络层和传输层,这些协议通常被称为“裸露”以太网协议,因为它们仅定义了数据链路层(二层)和物理层。这些协议通常被用于

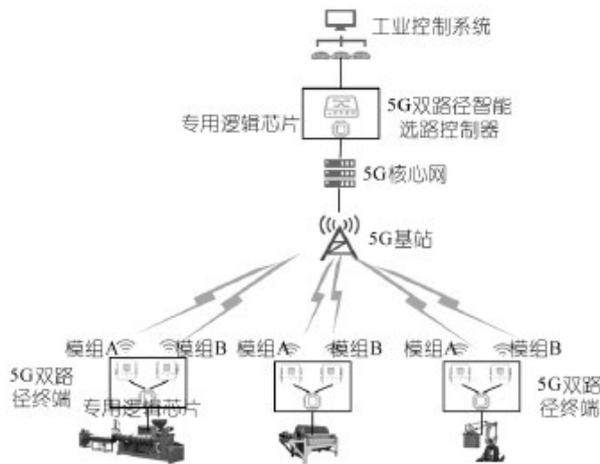


图5 新元5G双路径终端原理图

实时通信和工业控制系统中，因为它们提供了更低的通信延迟和更大的带宽。一些典型的“裸露”以太网协议包括 Profinet、EtherCAT 和 Modbus TCP。此外，工业场景中有很多组播 / 广播业务，组播 / 广播可以实现分布式控制和管理，从而提高生产效率和质量。

以天车控制为例，原本天车 PLC 和与 PLC 上位机控制系统之间是通过二层协议通信的，依靠对端的 MAC 地址寻址。而原生态的 5G 网络是依靠 IP 寻址的三层协议，5G 终端获取的地址也是 IP 地址，不支持二层数据转发。引入 5G 网络后，为了保证 PLC 控制系统和天车 PLC 之间能够正常通信，除了引入 5G 工业终端进行 5G 无线信号转换外，图 6 中还分别在天车 PLC 后面以及 PLC 控制系统前面增加了 AR 路由器，发端 AR 路由器负责封装 softGRE 隧道，将工业二层协议封装在 softGRE 隧道中，再与对端的 AR 进行通信，接收端的 AR 路由器再负责将隧道去除，转换为工业协议发送给天车 PLC 或 PLC 控制系统。同时 5G 网络为 5G 工业终端分配 IP 地址。这种方式相当于建立了两层网络，上层是企业专网，通过 softGRE 隧道通信，下层是 5G 网络，作为承载层。这种组网方式较为复杂，成本略高。

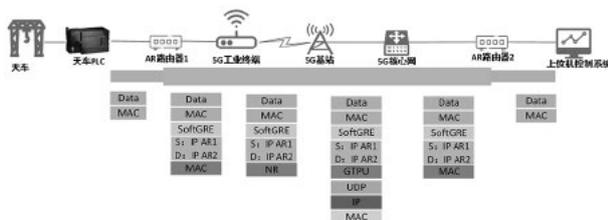


图6 传统的5G工业终端，需通过AR路由器实现层二组网

随着技术演进，网络支持 5G LAN 技术之后，5G 网络中可以直接传输二层协议，如图 7 所示，PLC 控制系统和天车 PLC 之间也无需插入 AR 路由器来新建隧道，5G 工业终端也不再需要 5G 网络分配的 IP 地址。在这种方式中，整个网络是单层网络，5G 核心网自学 PLC 的 MAC 地址列表，其作为虚拟交换机完成二通信可以简化网络组网，降低改造成本，更好地支撑二层网络通信。

5G LAN 的另外一个重要的区别以往的特性是可以支持广播、多播。可以让终端动态加入不同工作域，实现更加灵活和智能的设备间通信。例如，根据位置加入附近“工作岛”，进行设备间通信，可以实现更加高效和可靠的物流管理和生产线控制。5G LAN 可以支持终端动态加入不同工作域，根据位置信息将设备分组，实现设备间的快速通信。例如，AGV 车、可穿戴设备、巡查产线编组等。

通过 5G LAN 提供的二层组网，工业用户可以快速地搭建起二层网络，实现设备之间的高效通信和隔离，满足工业通信的特殊需求，提高工业生产的智能化和自动化水平。

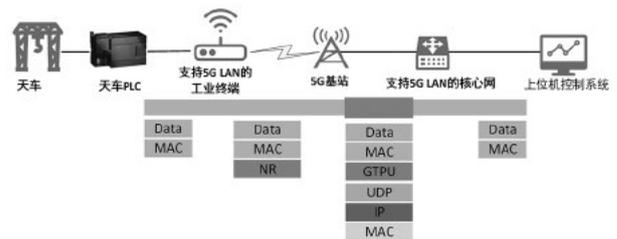


图7 5G LAN 技术可直接支持工业设备的二层组网

5 结论

轮胎智能工厂首先是以自动化为基础的企业，也是以信息为重心的企业。以 5G 为底座，融合 MES、门禁、视频监控、人员定位、AR 巡检、集群对讲、AGV、机器人、能源管理等子系统，实现对人员、物料资源、生产环境、能耗等生产要素的实时感知，应采尽采，进一步打通生产制造环节、实现信息流、物流等生产要素的更快流转，围绕着“人、机、料、法、环、测”各要素，帮助企业不断优化资源配置，提升生产效率，为企业的高质量创新发展和智能化转型提供了路径。

参考文献：

- [1] 3GPP. TR 22.832 Study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domains: 3GPP 国际标准,

- 2022.
- [2] 3GPP. TS 22.104 Service requirements for cyber-physical control applications in vertical .
- [3] 3GPP. TR 22.804 Study on Communication for Automation
- in Vertical Domains,3GPP 国际标准, 2022.
- [4] 3GPP. TS 38.101-1 User Equipment(UE)radio transmission and reception Part 1:Range 1 Standalone,3GPP 国际标 准, 2024.

Research and practice on the construction of intelligent tire factories based on new-generation communication technology

Yu Weifeng, Zhang Hui, Zhu Shaoqing, Han Gang

(New Universal Science and Technology Co. LTD., Beijing 100036, China)

Abstract: New-generation communication technology represented by 5G, featuring low latency and high bandwidth, enables full-process, full-scenario industrial wireless interconnection. In recent years, the government has strengthened policy support for 5G fully connected factories and industrial internet, bringing significant benefits to enterprise transformation. Based on self-developed 5G industrial private network base stations and industrial internet platform technology, New Universal has deepened smart factory solutions. This paper explores the application of 5G-led new-generation communication technology in intelligent tire factories based on relevant cases and experiences.

Key words: 5G; full connectivity; tire; smart factory

(R-03)

1.8 亿元！山东又添新建轮胎项目

180 million yuan! Shandong adds another new tire project

2026 年 1 月 21 日，山东省日照市五莲县，对日照万可工业品有限公司高性能子午线轮胎智能生产项目环评文件进行了公示。

据公示信息，项目投资 1.8 亿，选址于五莲县于里镇宏图路以西、镇政府北侧，占地面积约 4.98 万 m²，主要建设 3 座生产厂房及配套设施，购置密炼机、开炼机、挤出机等核心设备并配套环保设施，工期预计 12 个月。

项目以天然橡胶、再生橡胶为原料，设计年产能为高性能子午线轮胎 400 万套、内胎 400 万套、橡胶履带 400 万套，拟用工 270 人，实行两班制生产。

日照万可工业品有限公司，2025 年 6 月成立于日照五莲县，注册资本 6 000 万元，主营轮胎制造销售、橡胶制品、货物进出口等业务。

作为当地重点推进的产业项目，其落地契合山东轮胎产业高端化、智能化转型趋势。五莲县近年来持续强化橡胶加工产业集群培育，此前已有金富橡胶等企业落地扩产，此次项目将进一步补齐产业链短板。项目采用智能生产技术与环保设施，兼顾产能提升与绿色发展，符合行业转型方向。

摘编自“聚胶”

(R-03)

