CAICT 中国信通院

No.202129

中国“5G+工业互联网”发展报告

中国信息通信研究院

2021年12月

版权声明

本白皮书版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。

编制说明

本报告为《中国“5G+工业互联网”发展报告（2020 年）》的持续研究报告。报告编制过程仍延续了“5G+工业互联网”发展指数的基本框架，从政策环境、技术标准、基础设施、应用探索和产业生态五大部分总结我国“5G+工业互联网”发展现状，全面论述5G 商用以来的发展动态。同时根据 2021 年度产业推进热点情况，报告增加了 5G URLLC、轻量化 5GC、5G 边缘计算等技术热点，5G 全连接工厂、“5G+工业互联网”融合应用先导区等产业热点，以及国际情况、投融资情况、合作模式等相关内容，并在最后部分提出下一步发展建议。本报告撰写过程中获得了众多专家的指导和帮助。在标准演进、网络建设、关键技术、终端模组、应用落地、投融资情况等各章节，中国电信集团有限公司、中国移动通信有限公司研究院、中国联合网络通信集团有限公司、浙江省工业和信息化研究院、浙江大学、山东大学、北京邮电大学、华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、芯讯通无线科技（上海）有限公司、鼎桥通信技术有限公司、晨山资本、上海邮电设计咨询研究院有限公司、施耐德电气、深圳艾灵网络有限公司、山东德晟机器人股份有限公司等单位的专家贡献了大量内容，在此一并感谢。

前 言

“5G+工业互联网”是指利用以 5G 为代表的新一代信息通信技术，构建与工业经济深度融合的新型基础设施、应用模式和工业生态。通过 5G 技术对人、机、物、系统等的全面连接，构建起覆盖全产业链、全价值链的全新制造和服务体系，为工业乃至产业数字化、网络化、智能化发展提供了新的实现途径，助力企业实现降本、提质、增效、绿色、安全发展。

党中央国务院高度重视 5G、工业互联网发展。习近平总书记多次对推动工业互联网发展做出重要指示，强调要持续提升工业互联网创新能力。习近平总书记在给 2020 中国“5G+工业互联网”大会的贺信中指出，当前，全球新一轮科技革命和产业变革深入推进，信息技术日新月异，5G 与工业互联网的融合将加速数字中国、智慧社会建设，加速中国新型工业化进程，为中国经济发展注入新动能，为疫情阴霾笼罩下的世界经济创造新的发展机遇。刘鹤副总理在为 2021 中国 “5G+工业互联网” 大会的致辞中指出，发展“5G+工业互联网”是实现高质量发展的重要突破口，是科技自立自强的重要支撑，对实现碳达峰碳中和目标也具有重要意义。

工业和信息化部推进实施“5G+工业互联网”512 工程以来，行业应用水平不断提升，应用深度向更广范围、更深程度、更高水平延伸。2021 年，政、产、学、研、用全面推进“5G+工业互联网”发展。本报告结合“5G+工业互联网”发展指数，对我国“5G+工业互联网”发

展进行全面总结。整体来看，全国“5G+工业互联网”融合发展呈现以下特点：**一是**我国央地政策支持力度持续加强，投融资力度加码，“5G+工业互联网”发展环境持续向好。**二是** 5G 技术标准加速成熟，5G 与 TSN 技术、边缘计算技术部署应用加速，轻量化 5GC 成为业界探索热点，垂直行业标准加速落地。**三是**“5G+工业互联网”组网模式及商业模式不断成熟，混合组网模式加速落地，基于 5G 技术的 OT+IT+CT 扁平化网络架构实践初步形成。**四是**典型应用场景和重点行业不断推进，5G 全连接工厂成为产业界探索应用“由点到线”新热点，区域特色不断显现，以产业园区为基础载体的“5G+工业互联网”融合应用先导区在部分地区开始创建。**五是**创新生态逐步完善，具备 5G 通信能力的工业融合终端产品不断涌现，供给短板不断补齐。信息通信企业、工业企业、解决方案集成商等各产业主体合作力度加强，团体赛推进形式丰富。行业测试床、联合实验室等产业公共服务平台载体也不断引领产业发展。

目 录

一、发展环境持续向好.....1
（一）国家层面，顶层设计基本形成.....1
（二）地方政府，配套支持加速完善.....3
（三）产业主体，探索热情不断高涨.....5
（四）金融市场，投融资活跃度提升.....7
二、技术标准加速落地.....8
（一）URLLC 激活工业控制变革创新.....8
（二）5G+TSN 分阶段有序部署推进.....10
（三）5G 与 MEC 融合再掀发展浪潮.....13
（四）轻量化 5GC 应用加快探索步伐.....15
三、基础设施稳步部署.....17
（一）网络设施加速覆盖.....17
（二）组网模式逐步清晰.....17
（三）扁平化架构初步形成.....19
四、应用探索纵横深化.....21
（一）典型场景落地见效，标准化研究同步推进.....21
（二）应用加速连点成线，全连接工厂蓝海广阔.....24
（三）优势行业梯次形成，区域性发展特色显著.....29
（四）融合创新引领发展，先导区建设多点开花.....29
五、创新生态逐步完善.....31
（一）融合网络专利技术创新活跃.....31
（二）产业短板终端模组加速供给.....34
（三）垂直领域商业模式雏形渐出.....36
（四）产业公共服务平台不断构建.....38
六、接续发展合力推进.....39
缩略语.....41

图目录

图 1 全球工厂数字网联增长趋势.....6
图 2 现有工业无线技术尚未满足需求.....6
图 3 改造升级网络的意向需求.....7
图 4 3GPP 5G 标准演进.....9
图 5 5G URLLC 演进及工业自动化应用.....10
图 6 无缝衔接（TSN over 5G）.....12
图 7 承载网融合（5G over TSN）.....12
图 8 端到端 TSN 化的 5G（TSN 与 5G 深度融合）示意图.....12
图 9 普通 AGV 部署和基于 5G 云化的 AGV 部署.....14
图 10 “5G+工业互联网”企业融合组网.....18
图 11 IT+OT 扁平化架构与 IT+OT+CT 全扁平化架构对比.....20
图 12 “5G+工业互联网”重点行业典型应用场景一览表.....22
图 13 综合标准化体系框架图.....23
图 14 5G 全连接工厂内涵.....25
图 15 华为松山湖南方工厂 5G 应用.....27
图 16 中兴通讯南京滨江工厂 5G 应用.....28
图 17 边缘计算/5G TSN/5G LAN/5G NPN 专利申请趋势.....32
图 18 融合网络技术国内省份分布情况.....33
图 19 5G TSN 细分领域专利分布.....34
图 20 5G 通信模组架构图.....35
图 21 2019-2021 年“绽放杯”大赛工业领域项目成熟度对比.....37

表目录

表 1 “5G+工业互联网”相关国家政策（2020-2021 年期间）.....3
表 2 “5G+工业互联网”立项标准名称.....23
表 3 全国“5G+工业互联网”先导区建设情况（部分）.....30
表 4 “5G+工业互联网”在建测试床及实验室（部分）.....38

一、发展环境持续向好

（一）国家层面，顶层设计基本形成

2017年底，国务院出台《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》，这是我国工业互联网发展的纲领性文件。其中“夯实网络基础”任务明确“在 5G 研究中开展面向工业互联网应用的网络技术试验，协同推进 5G 在工业企业的应用部署”。文件同时提出，要加快5G在工业互联网中的应用研究。

2019 年初，工业和信息化部出台《工业互联网网络建设及推广指南》，作为工业互联网网络体系落地实施的指导性文件。文件提出，支持基于5G建设网络技术测试床，开展基础通用关键技术、标准、设备、解决方案的研制研发、试验测试等工作。

2019年6月，我国发放5G 商用牌照，国内5G产业迅速发展，5G 应用探索脚步加快。2019 年 11 月，工业和信息化部出台《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》，提出打造 5 个产业公共服务平台，加快内网建设改造覆盖10个重点行业，提炼形成至少20大典型应用场景，引导产业界提升网络关键技术产业能力、创新应用能力、资源供给能力，培育形成5G与工业互联网融合叠加、互促共进、倍增发展的创新态势。同月，发改委、工信部等 11 部门联合发布《关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见》，在“探索重点行业重点领域融合发展新路径”部分，提出“加快人工智能、5G等新一代信息技术在制造、服务企业的创新应用，逐步实现深度优化和智能决策。”

2020 年 3 月，工业和信息化部在《关于推动工业互联网加快发展的通知》《关于推动 5G 加快发展的通知》两个文件中，再次强调实施“5G+工业互联网”512 工程，总结形成可持续、可复制、可推广的创新模式和发展路径，促进“5G+工业互联网”融合创新发展。5 月，工业和信息化部、国家发改委和自然资源部联合发布公告《有色金属行业智能矿山建设指南（试行）》《有色金属行业智能冶炼工厂建设指南（试行）》《有色金属行业智能加工工厂建设指南（试行）》，推进 5G、工业互联网、人工智能等新一代信息通信技术在有色金属行业的集成创新和融合应用，引导露天/地下矿山无人驾驶、远程协作、移动装备的互联互通等“5G+工业互联网”融合应用。9 月份，工业和信息化部印发《建材工业智能制造数字转型行动计划（2021-2023 年）》，鼓励企业积极探索“5G+工业互联网”，促进工业互联网与建材工业深度融合。

2020 年底，工业互联网专项工作组出台《工业互联网创新发展工程（2021-2023 年）》，提出要深化“5G+工业互联网”。主要包括：支持工业企业建设 5G 全连接工厂，推动 5G 应用从外围辅助环节向核心生产环节渗透，加快典型场景推广。探索 5G 专网建设及运营模式，规划“5G+工业互联网”专用频率，开展工业 5G 专网试点。建设公共服务平台，提供 5G 网络化改造、应用孵化、测试验证等服务，持续推进“5G+工业互联网”融合应用，针对重点行业培育 30 个左右典型应用场景，编制发布“5G+工业互联网”发展指数。

2021 年 5 月 27 日，工业和信息化部组织的采矿行业“5G+工业互

联网”现场工作会在山西召开。会议系统总结创新成效，着力推进采矿等重点行业利用“5G+工业互联网”加快数字化转型。会上发布了《“5G+工业互联网”十个典型应用场景和五个重点行业实践》。2021年11月19日，2021中国“5G+工业互联网”大会在武汉召开。会上，工业和信息化部发布《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践（第二批）》。

表1“5G+工业互联网”相关国家政策（2020-2021年期间）

序号	文件名称	发布时间	发布单位
1	《工业和信息化部办公厅关于推动工业互联网加快发展的通知》	2020/03/06	工业和信息化部
2	《关于推动5G加快发展的通知》	2020/03/24	工业和信息化部
3	《有色金属行业智能矿山建设指南（试行）》	2020/04/29	工业和信息化部 国家发展改革委 自然资源部
4	《有色金属行业智能冶炼工厂建设指南（试行）》	2020/04/30	工业和信息化部 国家发展改革委 自然资源部
5	《有色金属行业智能加工工厂建设指南（试行）》	2020/05/01	工业和信息化部 国家发展改革委 自然资源部
6	《建材工业智能制造数字转型行动计划（2021-2023年）》	2020/09/21	工业和信息化部
7	《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023年）》	2020/12/22	工业互联网专项工作组
8	《“5G+工业互联网”十个典型应用场景和五个重点行业实践》	2021/05/31	工业和信息化部
9	《“5G+工业互联网”十个典型应用场景和五个重点行业实践（第二批）》	2021/11/20	工业和信息化部

来源：中国政府网

（二）地方政府，配套支持加速完善

全国各省（区、市）结合自身特点出台相关政策。目前31个省（区、市）均制定了5G相关政策，其中80%以上的地区明确了工业

互联网方向的支持，北京、山西、辽宁、江西、湖北、湖南、重庆、四川、宁夏等9个地区政策文件中明确“5G+工业互联网”专栏政策。多地利用现有工业互联网、单项冠军、首台（套）重大技术装备、技术改造等支持政策进行引导，山东、辽宁、江西等地区通过5G产业投资基金等进行支持。

从政策类型看，广东、山东、福建、辽宁等地区加大了对5G基础建设的支持力度，对相关项目提供专项资金支持；广东、江苏、上海、湖北等地区推动创建产业示范基地，打造工业互联网典型示范应用；浙江、湖南、安徽、江西等地区鼓励建立5G产业公共技术服务平台，为改善产业生态环境提供支撑；北京、天津、四川等地区着力培育突出技术，提升技术研发和成果转化能力；山东、重庆、河南、山西等地区加强人才队伍建设，培养引进工业互联网领军人才。

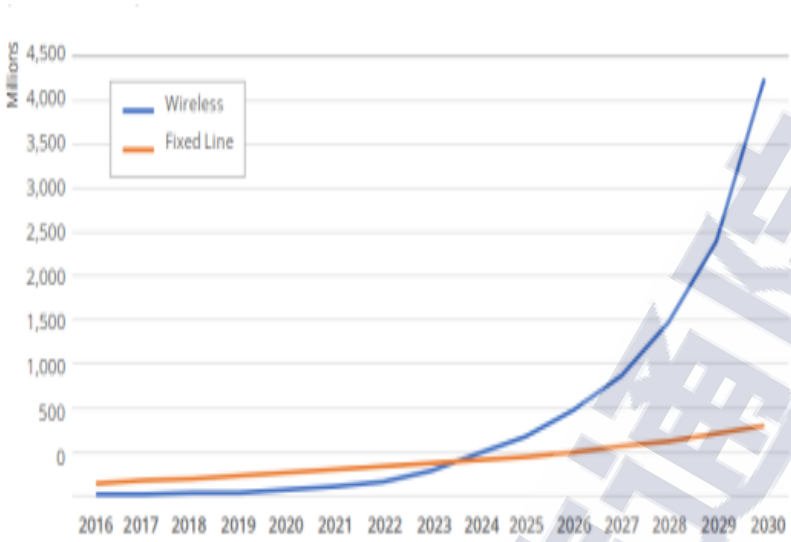
从政策特色看，广东省出台了《广东省加快5G产业发展行动计划（2019-2022年）》，围绕家用电器、电子信息、装备制造、生物医药等重点优势行业，鼓励大型制造企业探索新应用新模式，支持打造5G示范项目及智慧城市示范区，助力广东建设世界级5G产业集聚区；山东省出台了《山东省支持数字经济发展的意见》，提供专项资金支持各地市加快5G网络建设，全面升级信息基础设施，并用教育发展专项基金对互联网数字技术人才给予奖补；浙江省出台了《加快推进5G产业发展的实施意见》，各区市均有相关政策跟进，鼓励制造、农业、物流、电子商务等行业的智慧应用，推广“5G+

智能制造”新模式，建设“无人工厂”，强化智能商业，电子商务等领域的优势。

地方政策作为产业发展的先驱动力，在产业布局、资金支持、场景应用、平台建设、技术培育、人才选拔、建站补贴等关系“5G+工业互联网”发展的诸多方面给出支持，极大地促进了地方 5G 与工业互联网的建设，为加快推动“5G+工业互联网”的发展发挥了积极而重要的作用。

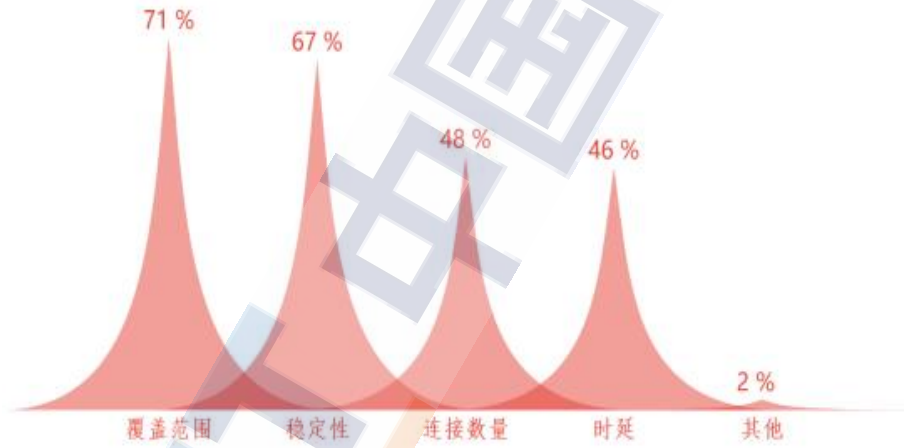
（三）产业主体，探索热情不断高涨

随着以 5G、工业互联网为代表的新基建加速落地，全球范围内工业无线网络以每年 30%的速度增长，各大企业对于“5G+工业互联网”的认知度快速提升。尤其在新冠肺炎疫情的冲击下，越来越多的企业认识到数字化转型的重要性，对网络化、智能化的投资意愿逐渐增强。当前我国工厂的数字化水平受限于设备信息化过程中的联网数量、网络传输质量等，工业互联网催生的新业态新模式也对网络协同能力提出了更高要求，现行工业无线技术尚未完全满足生产需求。经初步调研，半数以上企业认为现行工业无线技术在覆盖范围、技术稳定性、终端连接数量等方面仍有提升空间。5G“低时延、高可靠、大带宽”的特性，与工业领域“低时延、高可靠、广覆盖”的网络基础要求紧密契合，更加灵活的组网模式、更加高速的传输通道等属性，都为工业互联网实现网络协议、系统、软硬件的创新发展提供了新的方向。



来源：ABI research

图 1 全球工厂数字网联增长趋势

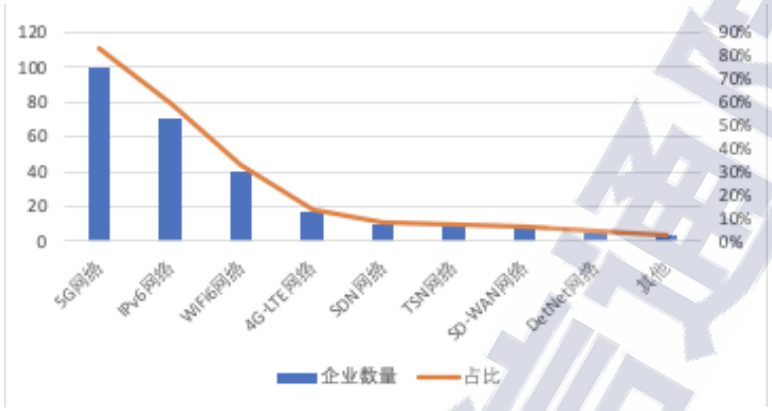


来源：工业互联网产业联盟

图 2 现有工业无线技术尚未满足需求

工业互联网产业联盟 2020 年一项调研数据显示，不考虑成本等其他因素，产业主体探索网络改造和应用 5G 的意愿较强。超过 80%的被调查企业对在未来 3-5 年内提升企业信息化水平有过整体规划和考虑，新建或升级改造网络、建设工业云平台、建设数据中心是企业最主要的信息化升级需求。有意向计划新建或升级改造网络的被

调查企业中，5G 网络成为首选。其中超过半数企业认为为保证且有网络独立性，有必要建立企业 5G 专网。



来源：工业互联网产业联盟

图 3 改造升级网络的意向需求

（四）金融市场，投融资活跃度提升

近年来，我国工业互联网企业在各级资本市场表现良好，资本赋能的作用不断凸显，有力支撑了工业企业数字化、网络化、智能化发展。随着 5G 技术的快速发展和企业转型需求的不断涌现，以三大运营商为代表的上市企业加快在“5G+工业互联网”领域的布局，一些初创企业围绕 5G+人工智能、物联网、大数据、云计算等技术服务和综合解决方案等重点领域快速成长。

从投资方向看，5G 芯片是长期以来受创投机构关注的领域。其中产业链上游基础器件层面最受关注。例如创芯慧联、富联通讯、星思半导体、锐石创芯等企业，主要专注于 5G 小基站芯片、5G 模组研发设计、5G 芯片以及射频领域集成电路等研发方向。基于 5G 与人工智能、边缘计算等技术融合的解决方案提供商也成为了新的投资热点。例如秒如科技致力于成为 5G+人工智能时代的智能边缘

计算服务商，利用边缘计算和人工智能技术进行创新应用并提供解决方案。

从地域分布看，融资企业主要集中分布在北京、上海及东南沿海地区。在参与调研的几十家家企业中，企业注册地在北京的有近30%、在上海近 50%，中西部地区企业仅占 5%左右，从另一维度印证了“5G+工业互联网”发展水平与地方经济水平呈现较强的一致性。从融资规模来看，近半数统计企业获得融资规模均超过或接近亿元，工业互联网对经济社会各领域的带动作用逐步显现。

从投资主体看，政府、国资主导的产业基金持续加大布局力度。例如，北京市设立 50 亿元 5G 产业基金，为北京市首只政府参与组建的 5G 产业专项基金，拟由北京经济技术开发区国有投融资平台亦庄国投、北京市科技创新投资管理有限公司与中国建银投资有限责任公司共同设立，基金将重点投资 5G 产业链上中下游国内外技术领先的高科技企业。中国移动与国投集团组建中移创新产业基金，中国电信与前海方舟资产管理公司等合作设立智慧互联基金，中国联通与武汉东湖新技术开发区、湖北科投等发起设立联通 5G 产业母基金，聚焦投资 5G 产业高增长投资机会，扶持 5G 产业链各细分领域龙头企业的创新发展，巩固 5G 技术在工业领域成功应用的产业优势。

二、技术标准加速落地

（一）URLLC 激活工业控制变革创新

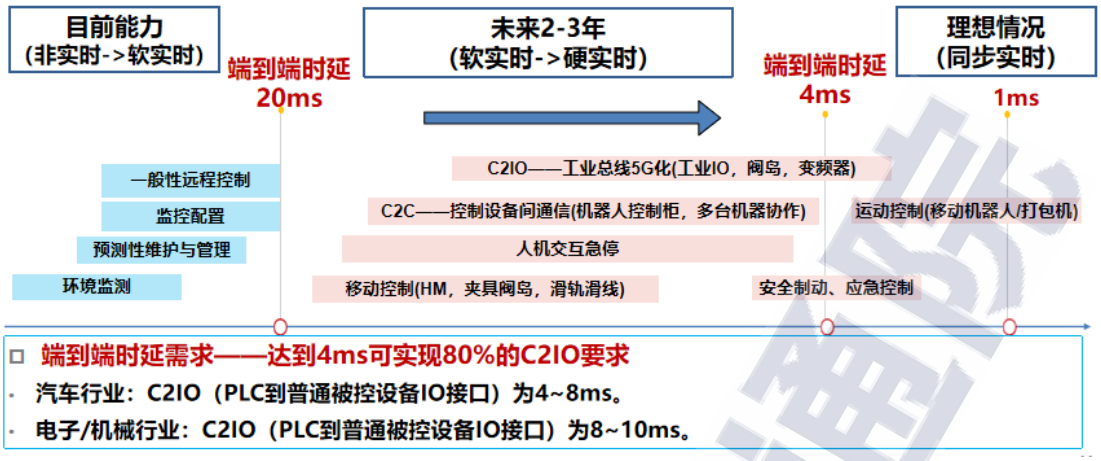
5G URLLC 标准持续演进，不断提升对工业控制应用支撑能力。当前，“5G+工业互联网”应用主要基于 5G R15 增强移动宽带（eMBB）

特性，以大带宽传输类融合应用为主。3GPP 于 2020 年 7 月冻结了 5G 第二版本 R16，进一步增强了 5G 服务行业应用的能力。其中 5G 超可靠低延迟通信（URLLC）特性不断成熟，保障了 5G URLLC 的应用从单链路的远程操控，逐步开始进入工业自动化控制的人机界面控制和产线实时控制。随着 3GPP R18 标准的持续演进，5G URLLC 的能力将不断增强，时延将进一步降低，可靠性提高，可满足大多数的工业自动化的实时控制场景。

来源：中国信息通信研究院

图 4 3GPP 5G 标准演进

5G URLLC 标准逐步落地应用，分阶段匹配工业控制需求。5G URLLC 在工业领域主要应用在现场级 OT 网络，面向实时 RT（Real Time）和运动控制同步实时 IRT（Isochronous Real Time）场景，以低时延和可靠性匹配控制网络需求。5G URLLC 标准定义了无线接口时延可达 1ms，当前基于 5G URLLC 标准的落地，5G 网络端到端时延可达 20ms，能够满足机器视觉、环境监测、预测管理等场景需求。未来 2-5 年，端到端时延最低可达到 4ms，可实现人机控制界面、多台机器人控制协作、PLC 南向剪辫子等场景。理想情况下在同步实时性能上有望达到 1ms 端到端时延，以期满足运动控制场景的时延需求，助力 5G 技术深入融入工业应用场景。



来源：华为技术有限公司

图 5 5G URLLC 演进及工业自动化应用

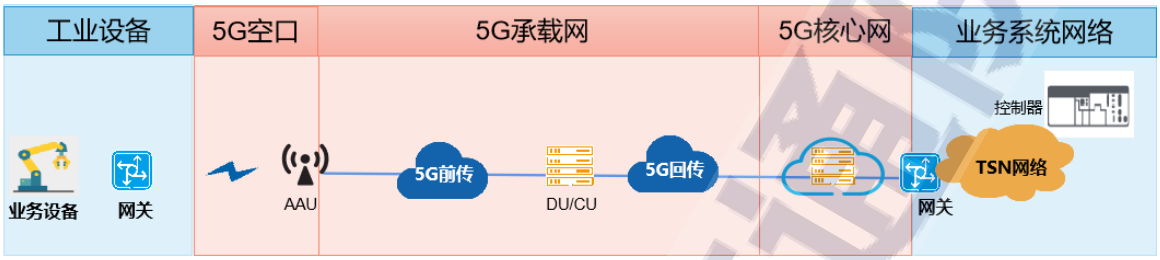
5G URLLC 深度融入工业体系，将激活工业网络和产线的变革。通过标准演进和场景的不断落地，5G URLLC 技术推动工业自动化走向网络化、柔性化和智能化的变革，使工业制造实现产业升级。**一是助力网络化变革。**从传统 IT/OT 多层分级互相独立的多张单一网络，向一网多能的移动网络演进，扁平化架构极大简化组网复杂性。**二是助力柔性化变革。**利用 5G 连接去掉有线束缚，减少因线缆拖拽导致的停机等问题，彻底释放工业柔性化装备和工艺的潜能，实现工艺流程的并行预处理，推动柔性制造从柔性设备到柔性工艺到柔性产线演进。**三是助力智能化变革。**基于网络和流程的改变，设备层面从传统专用化的本地设备，变为软化的云-边-端协同的智能化装备，可更好利用大数据、人工智能等技术，进行有效的数据采集和分析，助力智能化生产制造。

（二）5G+TSN 分阶段有序部署推进

5G 网络确定性传输和 TSN 设计需求相互匹配。5G 网络端到端确定性传输是能够在工业互联网落地的关键。5G 相比 4G 进一步提高终端的传输速率，网络系统将面临更大的数据传输压力，利用以太网承载 5G 前传网络的技术方向受到关注。成立于 2012 年的 IEEE 时间敏感网络（TSN 工作组），制定 802.1CM 用于解决以太网传输机制下的移动前传网络的确定性问题，与 5G 网络的确定性传输需求相互匹配。3GPP R16 开始 Vertical LAN 项目研究，针对工业互联网场景开展 5G 支持 TSN、5G LAN 以及 5G NPN 相关技术的研究及标准化工作。R17 提出 TSN 增强架构，即实现 5G 核心网架构增强，控制面设计支持 TSN 相关控制面功能；实现 5G 核心网确定性传输调度机制，而不依赖于外部 TSN 网络；通过 UPF 增强实现终端的确定性传输；实现可靠性保障增强；实现工业以太网协议对接；支持多时钟源技术等。R18 阶段提出进一步完善支持 IEEE TSN 协议的 5G 网络系统，确立 5G 系统的确定性机制并进行标准化。

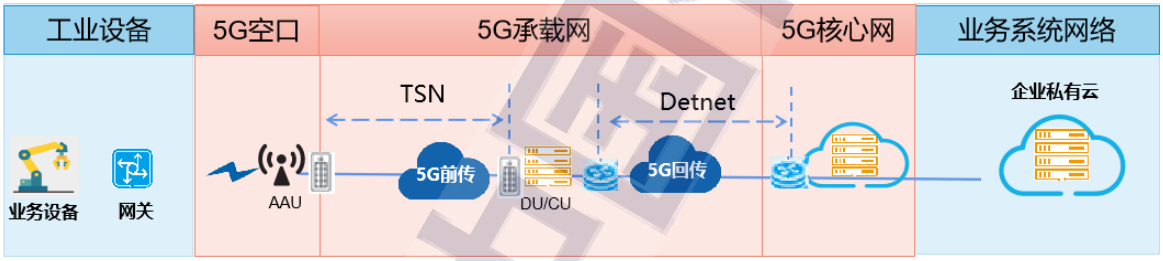
5G+TSN 融合部署分三个阶段有序推进。一是拼接式融合。主要实现 5G 网络与 TSN 网络的互通,即将原有已经具备时间敏感网络特性的业务系统（如工业控制网络、车载网络等）与 5G 系统进行网络拼接、流量调度协同，通过分段实现业务传输的确定性来提升端到端业务传送质量。**二是 5G 承载网融合。**随着 5G 在园区网络的部署及 URLLC 特性的成熟，TSN 技术用于 5G 前传网络成为现阶段试点应用方向，以 eCPRI 为接口的 5G 前传网络已经具备了与 TSN 融合部署的技术前提。**三是深度融合。**随着 5G 技术在工业体系下的深

度应用，5G 技术将与 TSN 进一步融合，整个 5G 网络系统逻辑上将升级为具备时间敏感网络特性的桥接系统，承载业务系统流量的远程确定性传送。



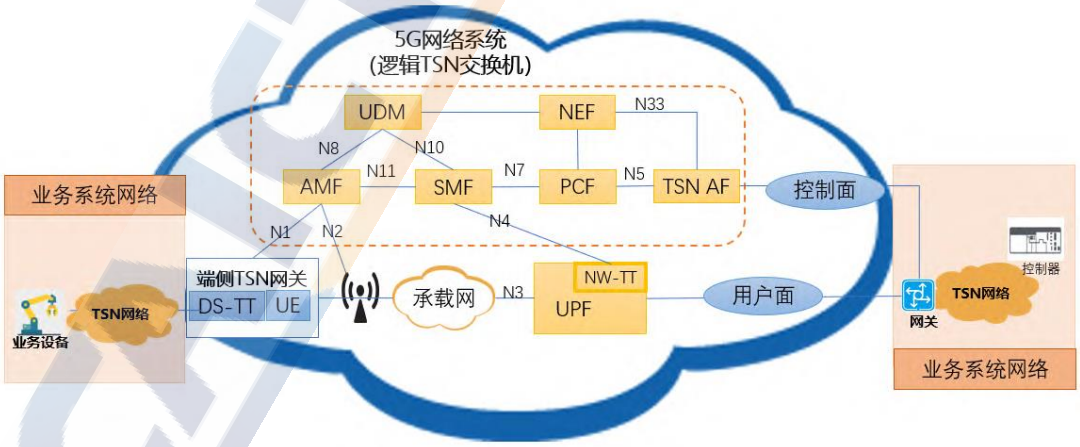
来源：中国信息通信研究院

图 6 无缝衔接（TSN over 5G）



来源：中国信息通信研究院

图 7 承载网融合（5G over TSN）



来源：中国信息通信研究院

图 8 端到端 TSN 化的 5G（TSN 与 5G 深度融合）示意图

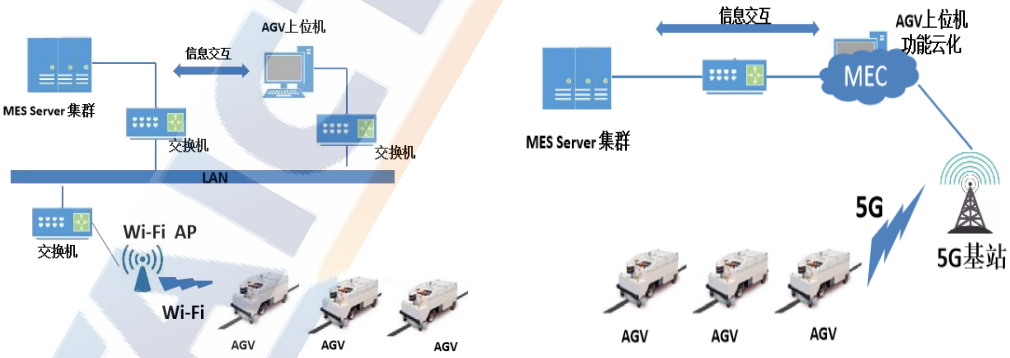
5G+TSN 技术研究与产品落地加快步伐。国际层面，龙头企业、科研院所等加快技术研究。德国应用科学大学联合诺基亚贝尔实验室提出融合 5G 与工业以太网的方案，高通公司研究组提出面向工业互联网的利用 5G 实现 TSN 交换机功能的思想和原型系统，爱立信研究院提出 TSN 将是 5G 实现 URLLC 场景低时延特性的重要标准，英特尔公司研究组阐述了无线 TSN 与有线 TSN 网络融合挑战等相关问题。**国内层面，产业界启动测试床建设和产品研发测试。**新华三集团积极推动 5G 与 TSN 融合相关研究，推出 TSN 交换机，以及与海尔集团共同构建的基于 SDN 的 TSN 测试床方案等一系列技术和产品革新。中国移动启动建设“5G+TSN”测试系统，用于测试工业典型的 5G 与 TSN 融合应用场景中端到端的业务特性、网络的性能以及包括终端、网关和平台等在内各个融合网络中的设备和系统的功能性能。中国信通院牵头搭建“5G+TSN 联合测试床”，联合产业界探索 5G 与 TSN 技术融合、行业应用适配及工业通信新场景验证。

（三）5G 与 MEC 融合再掀发展浪潮

5G 商用与边缘计算发展互促共进。边缘计算的概念可以追溯到 2000 年左右固网 CDN 的大规模部署。经过雾计算等概念热潮以及标准组织、通信产业与互联网产业的积极探索，边缘计算的概念逐渐清晰。2019 年 5G 商用发展再次推动边缘计算成为热点，头部互联网企业及运营商开始全面布局边缘计算业务和边缘基础设施建设。与此同时，随着全球移动产业探索“5G+工业互联网”的步伐加快，

边缘计算作为 5G 的原生能力，成为充分发挥 5G 商用潜力的重要保障。

5G+MEC 赋能工业边缘智能。5G UPF 下沉到边缘配合 MEC 部署后，业务应用可以直接部署在离基站较近的位置，在通信网络边缘对数据进行预处理，避免无效数据对网络资源的占用，同时对用户数据进行高速分发缩短响应时间，支撑低时延高可靠业务应用。另外，ETSI 定义的 MEC（对应 3GPP 的 local UPF 本地用户面网元）支持无线网络能力和运营能力开放，有助于电信行业和垂直行业的快速深度业务融合和创新。如图 9 所示，利用 5G 低时延大带宽特性，可以实现上位机功能云化，通过云上算法等资源，不断丰富智能化应用。智能终端获取的大量图片信息上传至边缘侧基础设施，边缘云部署的算法可靠近应用侧进行大规模数据预处理和算法预判，极大减少算法时延及上传中心云的数据量级，相关结果及时回传至边缘终端。



来源：中国信息通信研究院

图 9 普通 AGV 部署和基于 5G 云化的 AGV 部署

（四）轻量化 5GC 应用加快探索步伐

轻量化 5GC 助力形成高性价比和灵活性的网络解决方案。基于主流的混合虚拟专网建网模式，产业界加快探索灵活便捷、节约成本的 5G 行业专网建设，按需提供定制化的 5G 专网方案成为落地方向，轻量化、可定制的 5G 核心网（5G Core Network，简称 5GC）作为 5G 专网的重要组成部分，成为探索热点。轻量化 5GC 基于 3GPP 标准，结合特定企业应用场景需求，对传统面向公网业务的 5G 核心网进行了性能裁剪及功能定制。特别是面对高度碎片化的企业业务场景，轻量化 5GC 可通过灵活定制的 5G 网络能力开放接口，在保证 5GC 架构精简的条件下，实现 5G 专网对于各类业务场景的敏捷适配，克服了 5G 核心网设备系统架构体系过重部署复杂、成本过高难以灵活定制等缺点，有助于加速推进企业基于 5G 网络开展各类数字化转型工作。

轻量级 5GC 三种部署配置方式初步形成。一是全云化部署模式。轻量化 5GC 整体部署在云计算厂商提供的云平台之上，5GC 的各个网元运行在云平台中，并接受云平台的统一纳管。企业用户的 5G 基站通过网络专线接入云平台，通过 5GC 实现互联，从而构成一张完整的 5G 专网。企业用户可根据业务需要，借助云计算厂商提供的资源池化及调度能力，灵活调整 5G 专网配置，并与云平台上的其他业务系统实现无缝集成。**二是一体机部署模式。**轻量化 5GC 部署在超融合一体机上，并且以独立设备的形态运行在企业机房内。5GC 的各个网元运行在一体机中，并通过内部网络与企业用户的 5G 基站及

其他信息系统实现对接，形成一体化的企业级 5G 专网。企业用户必须自建系统管理能力，对 5G 专网进行配置管理。**三是混合部署。**轻量化 5GC 的部分网元采用云化方式部署，部分网元采用一体机方式部署。其中 5GC 控制面网元通常部署在云厂商提供的云平台之上，5GC 数据面网元部署在一体机中。企业用户可借助云平台的能力对 5G 控制面实现弹性部署及高可用保障，利用一体机的独立部署特性，一定程度上满足数据保密的要求。

轻量化 5GC 产品研发和应用试验广泛开展。电信运营商加快产品研发，补充现有公网能力。中国电信自研 5GC 的策略与计费规则功能单元，并在天翼云上部署应用，可向垂直行业提供“5G 网络即插即用”的专网级网络服务能力。中国移动推出轻量化 5G 核心网 OpenUPF 一体机。中国联通与中兴合作进行基于微服务与容器的轻量化 5GC 方案研究与试点。**设备供应商推出小型软硬一体化 5GC，巩固 5G 基础设施主导地位。**爱立信、华为、中兴针对 5G 专网需求提供小型软硬一体化 5GC。三星提供基于云原生的 5G SA 核心网产品，实现微服务架构、容器执行环境、端到端灵活编排等功能。**云服务提供商依托公有云、行业解决方案优势，进入 5G 专网市场。**微软、亚马逊提出可进行设计与部署可扩展的、安全可靠的、节省成本的运营商级别的 5G 云原生核心网与边缘网络。阿里推出基于开源与公有云的小型化 All in One 的极简 5GC。**小型厂商积极进入轻量化 5GC 市场。**IPLOOK 与华三基于传统 4G 企业专网推出轻量化 5G 核心网，拓展企业专网市场。艾灵网络开发了基于云原生架构的轻量

化 5GC，针对工业场景实现“零修改”网络能力开放功能，有效支撑了 5GC 的灵活定制功能。**高校科研院所开展试验研究。**北京邮电大学通过对5G核心网网元数量、功能的精简，将AMF、SMF、UPF三个网元部署在树莓派上，实现了两台客户端的 VoIP 视频通话。基于此轻量化核心网方案，利用低轨宽带卫星构建起了北京与济南 5G 专网间的骨干网络试点，实现了低轨卫星网络与地面5G专网的互联互通。

三、基础设施稳步部署

（一）网络设施加速覆盖

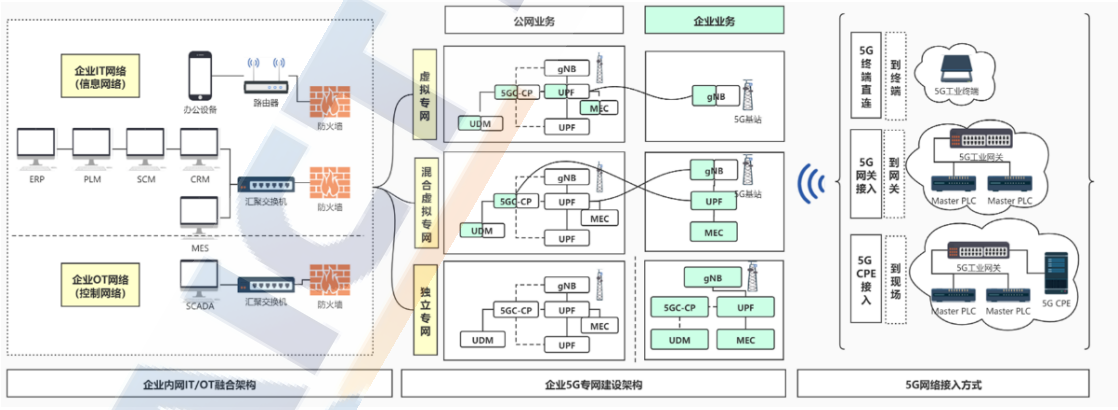
5G 网络基础设施有序推进。截至 2021 年 10 月底，我国 5G 基站建设总数超过 129 万个，占全球基站总数的 70%以上，是全球规模最大、技术最先进的5G独立组网网络，全国所有地级市城区、超过 97%的县城城区和 50%的乡镇镇区实现 5G 网络覆盖；5G 终端用户达到 4.5 亿户，占全球 80%以上。5G 在经济社会各领域的应用示范项目已经超过1万个，这些都为产业应用的普及奠定了基础。

边缘计算基础设施初具规模。电信运营商充分发挥网络优势，打造“5G+边缘计算”整体解决方案，统一建设和运营边缘云。**设备供应商**以网络技术和硬件设备优势占据边缘计算核心市场，在边缘计算产业链上几乎拥有全栈的产品及解决方案。**云服务提供商**依托自有公有云、研发能力和应用生态的优势，利用运营商网络、机房等基础资源，积极布局边缘计算市场。

（二）组网模式逐步清晰

“5G+工业互联网”三大组网模式基本形成。电信运营商在为行业提供 5G 网络服务时，采用的网络建设模式趋同，可归纳为三类：基于公网切片的 5G 虚拟专网模式、基于用户面下沉的 5G 混合虚拟专网模式以及 5G 独立专网模式。

如图 10 所示，**5G 虚拟专网**，利用 5G 切片等技术在面向公众服务的网络中为企业用户提供网络质量（时延、带宽等）定制化的专用通道服务，可实现不同用户不同业务间的逻辑隔离；**5G 混合虚拟专网**，原有在运营商核心网侧部署的 UPF（用户面功能）等下沉部署在企业园区内或邻近企业园区，以保障企业业务数据本地存储，具有较高的安全性和实时性；**5G 独立专网**，构建工业企业专用的 5G 网络，只承载企业自有业务，与公网隔离。现阶段，综合考虑业务需求、成本、安全性等因素，大中型企业普遍选择 5G 混合专网的方式进行网络升级改造。



来源：中国信息通信研究院

图 10 “5G+工业互联网”企业融合组网

中国电信推出 5G 定制网，采用“致远”“比邻”“如翼”三类服务模式。致远模式面向广域优先型行业客户场景提供定制网服务

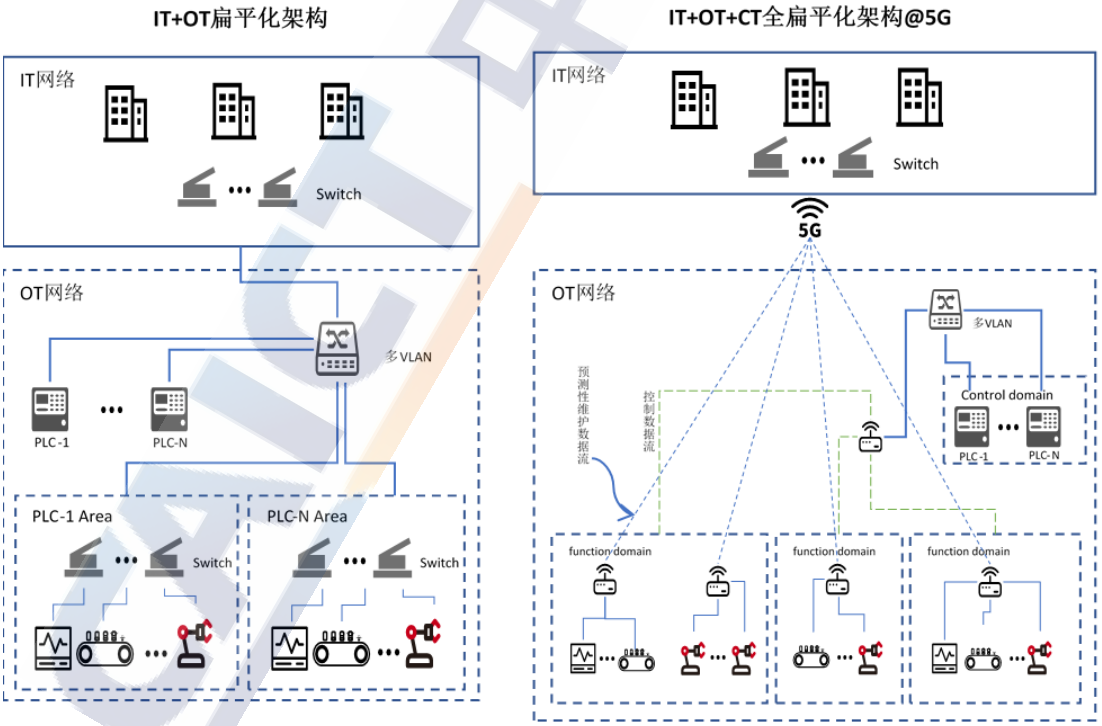
模式；比邻模式面向时延敏感型客户场景提供定制网服务模式；如翼模式面向安全敏感型客户场景提供定制网服务模式。**中国移动**推出“优享”“专享”“尊享”三种模式。优享模式为垂直行业客户提供的业务优先保障和业务隔离的服务产品；专享模式提供定制化增强无线网络和高质量的数据通信业务；尊享模式为垂直行业客户构建专用的5G网络。**中国联通**推出“5G虚拟专网”“5G混合专网”“5G独立专网”三类专网策略。5G 虚拟专网是为用户提供一张时延和带宽有保障的虚拟专用网络；5G 混合专网为行业用户构建一张增强带宽、低时延、数据不出园的基础连接网络；独立混合组网为行业用户端到端构建一张与公网数据完全隔离的独立专网。

（三）扁平化架构初步形成

当前工业控制系统以传统的五层架构为主，即企业层、管理层、操作层、控制层和现场层。工业控制系统内的各生产线之间相互独立，生产数据由控制器上传到上层的 IT 网络后集中处理，上层的 IT 网络难以触及现场层的生产系统，生产线之间无法进行深度协同。IT 网络与 OT 网络之间的不断融合与全域数据流通成为工业控制网络的发展趋势之一。

工业控制网络扁平化框架逐步发力，5G 使能更便捷灵活的全域扁平化架构。当前业界领先企业已逐步采用 OT+IT+CT 扁平化的网络架构，相较于传统的五层工控网络架构，扁平化网络架构的优势在于原有五层架构下的工业设备之间都可以通过网关相互连接，实现网络联接与控制逻辑之间的解耦，同时也实现了预测性维护数据

流的从下至上的打通。基于有线网络实现扁平化架构受限于组网配置与有线网关端口的物理绑定，难以适应灵活快速的调整，且实现全域的扁平化架构配置较为复杂。5G 支持终端基于无线方式接入，天然提供全域一张网的基础架构，摆脱了物理线路和端口的绑定约束，可以灵活快速的进行组网配置等调整。此外，相比于 3G/4G，5G 支持基于 5G LAN 特性的二层接入，可方便的进行 OT 和 IT 网络的扁平化融合，基于 5G 的切片功能还可进一步实现单个设备中的多个业务承载于不同 VLAN 的能力。基于这些功能，5G 可以更便捷的使能全域扁平化架构，使得工厂 IT 网络与 OT 网络间信息能更灵活的流转，最大程度地满足高层级系统向现场层延伸的需求，实时回传用于优化生产的数据。



来源：施耐德电气

图 11 IT+OT 扁平化架构与 IT+OT+CT 全扁平化架构对比

四、应用探索纵横深化

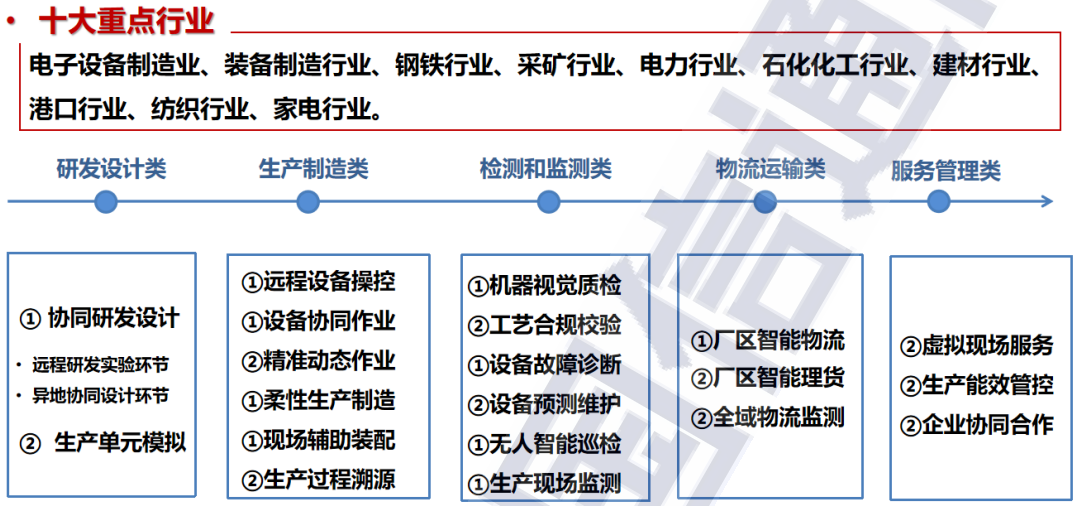
（一）典型场景落地见效，标准化研究同步推进

当前我国工业互联网已基本形成数字化研发、智能化制造、网络化协同、个性化定制、服务化延伸、精益化管理六大典型融合应用的模式，覆盖 41 个国民经济大类。工业是 5G 融合应用的主阵地，全国“5G+工业互联网”项目超过 1800 个，覆盖航空、矿山、钢铁、港口、电力等 22 个国民经济重要行业，在众多行业加快六大新模式的普及，有力推动了工业转型升级和产业融通发展。“5G+工业互联网”应用正由生产外围生产现场监测、厂区智能物流等场景应用向产品协同研发设计、远程设备操控等各环节深层次延伸，涌现出了一批“5G+工业互联网”典型应用场景，服务多个行业，取得了明显成效，具备较强的复制推广和应用示范价值。

在电子设备制造业、钢铁行业、采矿行业等国民经济重点行业中，涌现出一批较为典型的一些应用场景：例如电子设备制造业中的产线参数调整及设备灵活部署与 5G+AR 精密装备辅助装配等场景；装备制造业中的沉浸式异地协同设计、5G+AR 辅助飞机、船舶等部件装配与超高清飞机、汽车等部件表面质量检测等场景；石化化工行业中企业对水、电、汽、风、热等能源消耗数据进行能耗在线监测场景；港口行业中对装船机位置、姿态（俯仰角、回转角）连续、稳定、高精度测量等进行监测和控制等场景。

2021 年 5 月，为系统总结发展成效，向更多行业和企业应用“5G+工业互联网”提供具有借鉴意义的模式和经验，工业和信息

化部发布了第一批《“5G+工业互联网”十个典型应用场景和五个重点行业实践》。11 月，在 2021 中国 5G+工业互联网大会上，工业和信息化部发布了第二批《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践》。



来源：中国信息通信研究院

图 12 “5G+工业互联网”重点行业典型应用场景一览表

如图 12 所示，根据应用场景的技术成熟度、应用成效及影响力等因素综合考虑，“5G+工业互联网”的二十大典型应用场景如下：协同研发设计、生产单元模拟、远程设备操控、设备协同作业、精准动态作业、柔性生产制造、现场辅助装配、生产过程溯源、机器视觉质检、工艺合规校验、设备故障诊断、设备预测维护、无人智能巡检、生产现场监测、厂区智能物流、厂区智能理货、全域物流监测、虚拟现场服务、生产能效管控、企业协同合作。典型应用场景覆盖了研发设计、生产制造、检测和监测、物流运输、安全管理等核心环节，体现了数字化研发、智能化制造、个性化定制、网络

化协同、服务化延伸、精益化管理等工业互联网六大模式，形成了规模复制推广的良好基础和巨大应用潜力。

随着 5G 标准不断冻结，“5G+工业互联网”标准加速形成，指导产业发展。中国信通院牵头研究编制了《“5G+工业互联网”综合标准化体系建设指南》，涉及网络、终端、安全、应用等内容，加快建立统一、综合、开放的“5G+工业互联网”融合标准体系。

一批“5G+工业互联网”垂直行业标准也相继立项编制。截至目前，共有 12 项标准工业互联网产业联盟立项，其中 6 项已同步在中国通信标准化协会立项研制。

来源：中国信息通信研究院

图 13 综合标准化体系框架图

表 2 “5G+工业互联网”立项标准名称

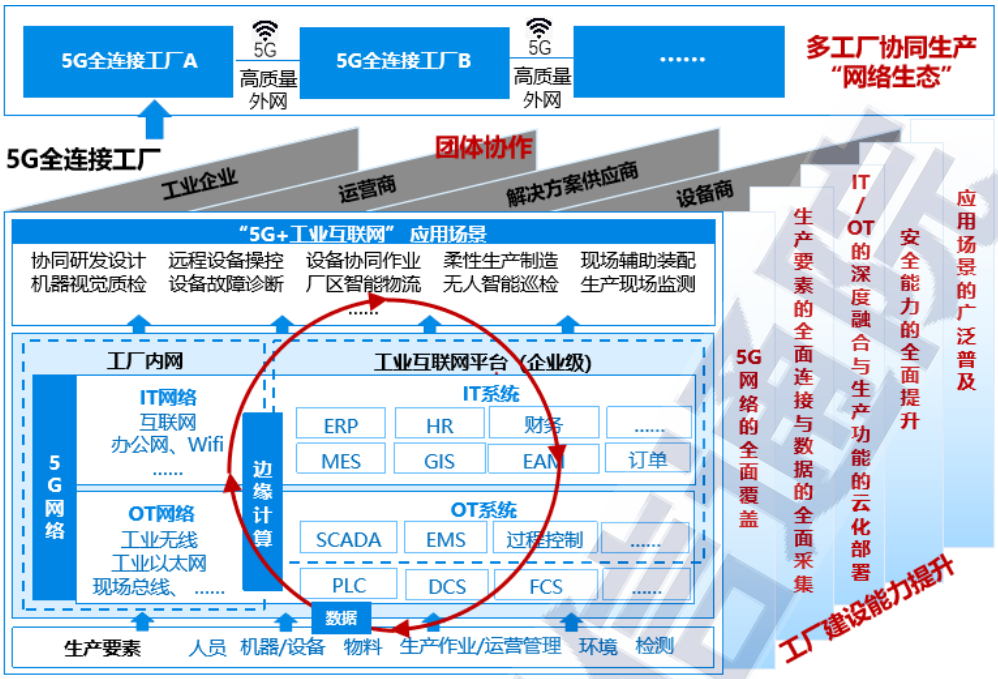
序号	标准名称
1	《面向矿山领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》
2	《面向港口领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》
3	《面向电网领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》
4	《面向钢铁领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》
5	《面向高端装备制造领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》
6	《面向工业园区的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》
7	《面向航空领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》
8	《面向水泥领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》

9	《面向石油化工领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》
10	《工业自动化 5G 关键场景及需求》
11	《面向行业的 5G 网络 SLA 定义及需求规范》
12	《5G+AGV 协同控制值数字平台通用技术规范》

来源：工业互联网产业联盟

（二）应用加速连点成线，全连接工厂蓝海广阔

5G 全连接工厂是以工业企业为主体，通过提高工业企业 5G 网络覆盖率，将 5G 技术逐步渗透到生产现场、网关和设备的集成应用，推动实现生产各要素的全面连接，进一步促进 5G 与工业互联网的深度融合。5G 全连接工厂打破企业原有业务和数据孤立、分散的困境，实现数据驱动下的智慧管理和柔性制造，全面提升企业综合运营绩效。当前业界针对 5G 全连接工厂的探索不断推进，达成初步共识：全连接工厂，首先还是强调全连接的能力，即网络无处不在的覆盖，依托包括且不限于 5G 在内的所有形态的网络连接。其次基于 5G 连接的手段，通过实现数据采集泛在化、资源透明可视、生产柔性化、以及机器的云化等演进措施，为工厂提供高价值的连接能力，实现工厂的“降本增效提质”。



来源：中国信息通信研究院

图 14 5G 全连接工厂内涵

5G 全连接工厂具备五大典型特征。**一是应通尽通（体现为 5G 网络覆盖率）**。5G 网络在工业企业或工厂及其相关区域全面覆盖，通过 5G 网络进一步补充现有工业网络能力，带动实现厂区内多种网络之间的融合互通。**二是应联尽联（体现为生产要素联网率）**。5G 全连接工厂应实现通过 5G 等多种网络将工厂内人、机、料、法、环、测等各要素的全面连接。其中通过无线网络连接的要素，应优先采用 5G 网络进行连接。**三是应采尽采（体现为工业数据采集率）**。通过 5G 为代表的新一代信息技术对生产、运行、监控管理数据实现采集，带动实现数据在系统内及各系统之间的使用和流转。**四是应升尽升（体现为生产环节渗透率）**。通过以 5G 为代表的新一代信息技术应用，进一步带动工厂内生产功能的云化部署、IT/OT 的深度融合，实现工厂各生产环节的数字化转型升级。**五是应用尽用（体现**

为生产场景普及率）。结合自身生产及发展需要，实现在工厂现场、网关、设备等处 5G 技术的全面应用，“5G+工业互联网”典型场景由单点应用向多工厂、多行业全面普及。

例如，华为松山湖南方工厂主要是华为 Mate/P 系列手机生产线，具有高度自动化、少品种、大批量的生产特点。工厂内利用 5G+云端 MES 平台+人工智能贯通生产工艺流、商业信息流和工程数据流，对产线 186 个生产设备中 138 个设备进行了 5G 改造，减少网线部署，节省网线 560 公里。提高了检测效率和产品质量。如图 17 所示，5G 全连接工厂实现的网络覆盖和典型应用如下:

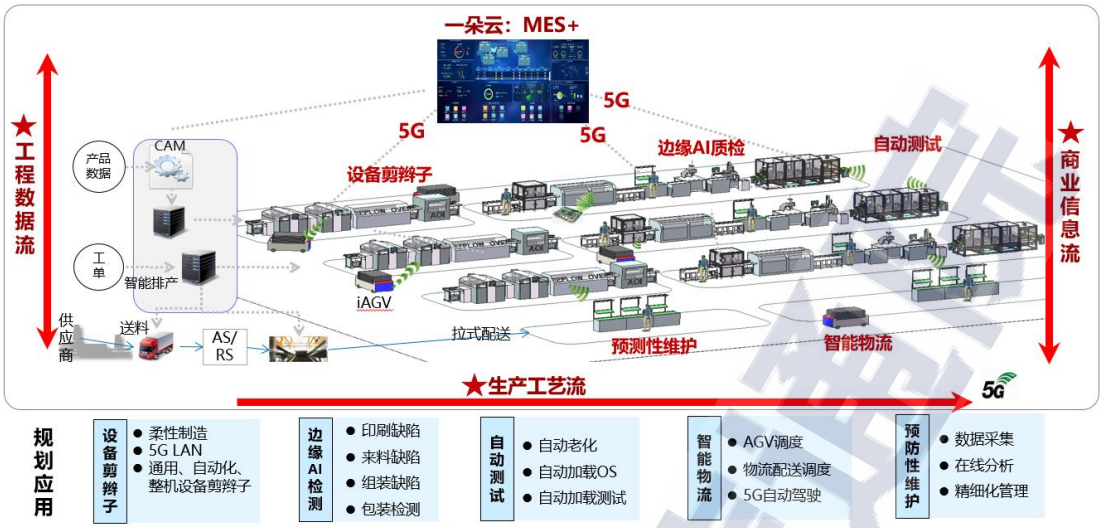
—设备剪辫子实现柔性制造：以往产线调整需要重新排线，用 5G 替代网线，无需排线实现设备可移动与柔性制造，手机产线调整加速，时长由原来的 10 人 7 天减少至 2 人 2 天，极大提升了柔性生产效率;

—5G 边缘 AI 质检：传统产线部署本地算力卡成本 300 万/车间，通过 5G 边缘计算实现云端超级算力共享，AI 算法下沉替代人工提升检测效率，由原来的 6 秒减少至 1.5 秒;

—自动测试：5G 替换 WiFi 实现设备测试程序自动加载，避免了 WiFi 在多终端并发加载时网络不稳定的问题;

—智能物流：对 AGV 设备进行 5G 改造，已稳定运行 8 个月，解决了 WiFi 不稳定的问题;

—预测性维护：5G 使能设备在线工艺制程数据实时上报，数字化呈现和在线分析，实现精细化管理和预测性维护。



来源：华为技术有限公司

图 15 华为松山湖南方工厂 5G 应用

又如，中兴通讯南京滨江工厂打造 5G 全连接数字化工厂，用 5G 技术来制造 5G 设备。项目共建设 10 套 5G 宏站，751 套有源室分，覆盖面积超过 35 万平方米，完成对整个滨江厂区的室内外 5G 覆盖。在高安全高可靠、极速上行带宽、低时延低抖动、无切换抗干扰四大特征的 5G 全连接网络基础上，滨江工厂重点打造了 5G 智能车间、工厂数字化运营、智能仓储及配送、5G 智慧园区四大业务功能板块，规划了 16 大类、60 余项 5G+工业融合创新应用，从传统的资源配置向场景驱动配置转变，从传统的人工操作为主向自动化、远程化、无人化升级，从传统的线下管理向线上、在线、智能在线升级。如图 16 所示，部分典型应用如下：

—厂区物流“货到人”：使用业界首批集成 5G 模组的 AGV，包括顶升、辊筒等多形态，实现全厂区物料周转场景的无人化，场

地部署成本降低 80%，周转人力节省 100%，人力成本每年节省 200 多万元；

—云化机器视觉应用：通过 5G+POL 一体化网络接入，图像传输至部署在 MEC 上的通用机器视觉平台，进行拼接、统一识别处理，快速对已有产线进行改造部署，并能提高机器视觉识别效率，减少人工成本，提升产品质量。应用包括：OCR 字符识别、IQC 来料检测、AAU 螺钉、转接柱视觉识别、AAU 导热衬垫、导热泥、导热硅脂质量检测、机械臂视觉导引自动叠板等。装配质量漏检率降低 80%，关键工序不良率降低 46%，产线人员减少 28%；

—云化 PLC 提高生产柔性：率先在基站小站测试产线上线了业界首个的整线云化 PLC，控制与 IO 模块解耦，控制在 MEC 端、I/O 部署于现场，统一控制，离线仿真，多协议支持，扩展更灵活。相对传统七国八制的硬 PLC，提升运维效率及降低柔性产线调整周期 20%以上。

来源：中兴通讯股份有限公司

图 16 中兴通讯南京滨江工厂 5G 应用

（三）优势行业梯次形成，区域性发展特色显著

全国各地积极引导利用 5G 技术进行产业集群网络升级改造、推进融合应用相关部署。地方因地制宜，加速培育 5G+电子信息、5G+装备制造等优势行业和特色产业，“5G+工业互联网”发展形成以长三角地区、粤港澳地区为引领，向京津冀地区、西部地区和东北老工业基地延伸的“东中西”梯次纵深推进发展态势。**长三角地区**最为活跃，三省一市均有针对性政策，“5G+工业互联网”探索行业覆盖近 20 个，纺织行业、金属制品行业探索全国领先，且在工业 5G 模组产业中拥有鼎桥、芯讯通等一批领先设备商；**粤港澳大湾区**产业数字化基础高、聚集性强，广东省支持家电制造行业、钢铁行业、电子制造业等行业 8 个“5G+工业互联网”示范园区创建，在全国率先推动园区建设，更好发挥产业集聚效应；**京津冀地区**以计算机、通信和其他电子设备制造业为主要特色行业，充分发挥央企集中优势，形成一批典型解决方案，辐射带动全国多点开花；**西部地区**企业集中探索露天环境下的行业实践，以内蒙古地区矿业、陕西地区煤炭开采较为突出；**东北老工业基地**在农副食品加工业、金属制造业方面探索较多，集中分布在辽宁、黑龙江地区；此外，重庆、山西、宁夏等多省（区、市）集中开展优势行业探索。

（四）融合创新引领发展，先导区建设多点开花

“5G+工业互联网”融合应用先导区（以下简称“先导区”）可以理解为在一定区域范围内，推进 5G 网络基础设施建设，结合 5G 与工业互联网各自技术优势，率先开展融合应用落地探索，挖掘新

应用、发展新模式、构筑新业态，最终形成具备区域和产业特色、具备一定先导示范效应的创新型产业园区。先导区将充分发挥示范引领作用，建成一批切实满足工业应用需求的高质量5G网络基础设施样板，孵化一批具有特色的“5G+工业互联网”融合创新应用，打造一批先导性公共服务平台，探索突破建网模式、融合深度、应用成本、安全管理等现实问题，形成一系列具有产业化能力的商业模式，打造一批可复制、可推广的区域性实践方案，构建以融合应用先导区为核心，引领周边辐射全国的特色“5G+工业互联网”创新生态体系。

在现有先导区建设过程中，呈现出几大类较为典型的探索模式：以政府或管委会牵头的产业集群发展模式；大型企业依托平台产业链开展建设的龙头企业牵引模式；集中优势产业资源倾斜的园中园发展模式；多地区根据自身优势产业资源跨地域协同模式等。

表3 全国“5G+工业互联网”先导区建设情况（部分）

省份	先导区建设区域	重点行业及领域
江苏省	苏州工业园区等	高端制造、电子信息、生物医药
广东省	**企业园区：**京信通信（广州）、昊志机电（广州）、富士康（深圳）、格力电器（珠海）、美的厨电（佛山）、TCL王牌电器（惠州）、中建钢构（惠州）、湛江钢铁（湛江） **高新区内园中园：**惠州仲恺高新区 **综合性工业园区：**江门鹤山工业园	电子信息、家电制造、装备制造、钢铁
湖北省	武汉市洪山区、东湖高新区	光电子、生物医药、绿色建材
湖南省	长沙经开区	工程机械、轨道交通、汽车及零部件、电子信息

四川省	德阳市经开区、旌阳区等	装备制造、能源化工、新型材料、通用航空、医药食品

来源：中国信息通信研究院

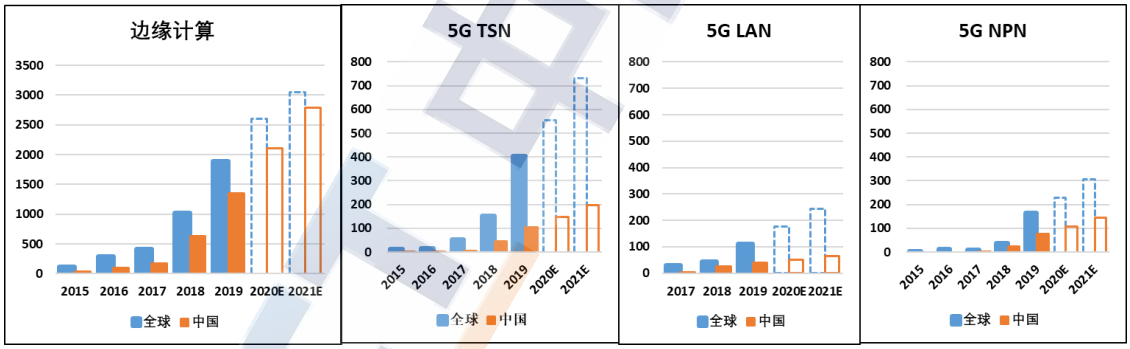
在全国范围内，已有多地开展“5G+工业互联网”融合应用先导区建设探索。湖南省依托长沙经开区设立省级“5G+工业互联网”先导区，在全省开展先行先试，加快工业互联网在优势产业集群的推广应用。江苏工信厅与通管局联合印发《全省推进“5G+工业互联网”融合发展工程的实施方案》《关于组织开展“5G+工业互联网”融合应用先导区培育工作的通知》等先导区相关文件与遴选方案，将先导区作为重要工作目标，着力在全省各区市培育“5G+工业互联网”融合应用先导区。苏州市工业园区立足园区优势，积极创建省级“5G+工业互联网”融合应用先导区。广东省发布《广东省“5G+工业互联网”应用示范园区试点方案（2020-2022 年）》，加快构建支撑广东制造业高质量发展的新型基础设施，深化“5G+工业互联网”创新发展，并已公布首批八个“5G+工业互联网”应用示范园区。此外，中部和西南等多省市也均有“5G+工业互联网”先导区/示范区相关支持政策和工作计划。

五、创新生态逐步完善

（一）融合网络专利技术创新活跃

“5G+工业互联网”融合网络部署带来新技术机遇。5G 与工业互联网融合架构涉及融合的网络部署架构、融合的终端技术、融合应用技术以及融合的网络安全技术问题。为推动融合网络部署，5G

R16 提出了 5G TSN（TSN over 5G NR）、5G LAN（局域网）以及 5G NPN（非公共网络）等关键技术，并积极推动业界达成共识，在融合应用技术方面，边缘计算通过在靠近物或数据源头的网络边缘侧提供边缘智能服务，构建融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放体系，让工业数据真实发挥价值。围绕这些技术，传统工业企业、通信企业在加速转型过程中，互联网巨头、新型科技公司在融合创新过程中都充分申请专利，以掌握未来市场竞争的优势地位。如图 17 所示，在边缘计算、5G TSN、5G LAN、5G NPN 等领域专利申请趋势，中国企业和科研机构积极布局融合网络关键技术专利，受专利申请公开滞后的影响，2020 年与 2021 年专利申请并未全部公开，但从增长趋势来看未来 2 年专利数量将持续上升。

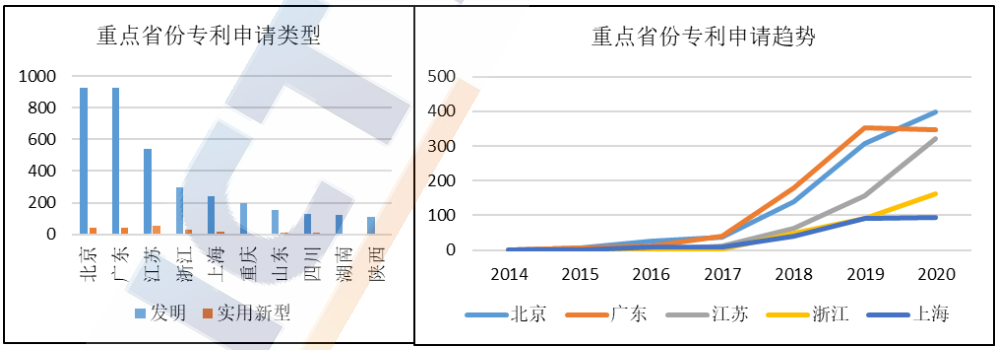


来源：中国信息通信研究院

图 17 边缘计算/5G TSN/5G LAN/5G NPN 专利申请趋势

“5G+工业互联网”关键技术专利积极布局。截至 2021 年 10 月，**边缘计算**全球有效专利超过 5000 件，在产业联盟的协同推动下，国内机构创新活跃，华为、中国联通、OPPO、中国移动、大唐电信、国家电网等企业以及北京邮电大学、重庆邮电大学、南京邮电大学、电子科技大学等高校围绕边缘计算的负载均衡、资源分配、网络切

换方法以及边云协调、边缘智能等方面提出了较多的解决方案。5G **与 TSN 融合部署**的专利早在 2016 年就有企业布局，专利的产生时间早于标准冻结的时间，近 5 年来，数量激增，全球专利累计近 600 件，主要是中国专利、美国专利和欧洲专利。尽管 TSN 技术专利申请早期更多的来自欧美企业，但是近 3 年来，随着华为等我国企业加大研发投入，国内机构的专利年度申请量已经超过美国。5G LAN **服务**相关专利已经超过 200 件，较一年前近乎翻倍，与标准相关的专利从 2017 开始出现，中国企业创新活跃。除了欧美企业外，我国华为、VIVO 和 OPPO 为代表的厂商围绕 5G LAN 之间互联互通技术提出了较多的技术方案。5G NPN（**非公众网络**）相关的专利数量达到 280 件，2020 年至 2021 年期间，新增近件专利，国内企业专利主要涉及非公众网络的配置方法以及终端如何分别接入非公众通信网络和公众通信网络等具体技术问题解决方案。

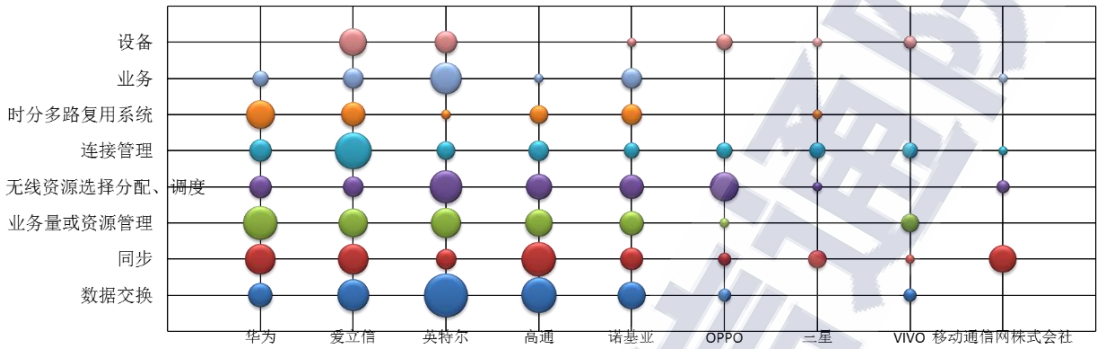


来源：中国信息通信研究院

图 18 融合网络技术国内省份分布情况

企业技术创新路线各有侧重。以 5G TSN 专利的细分技术方向为例，专利创新主要围绕 TSN 与 5G 融合的时间同步机制、协同流量调度机制以及高可靠性方案。其中，华为专利侧重资源管理与调

度技术；爱立信专利侧重连接管理；英特尔专利侧重业务管理、资源分配以及数据交换；高通在同步机制和数据交换方面有布局；OPPO 专利侧重资源分配方案。

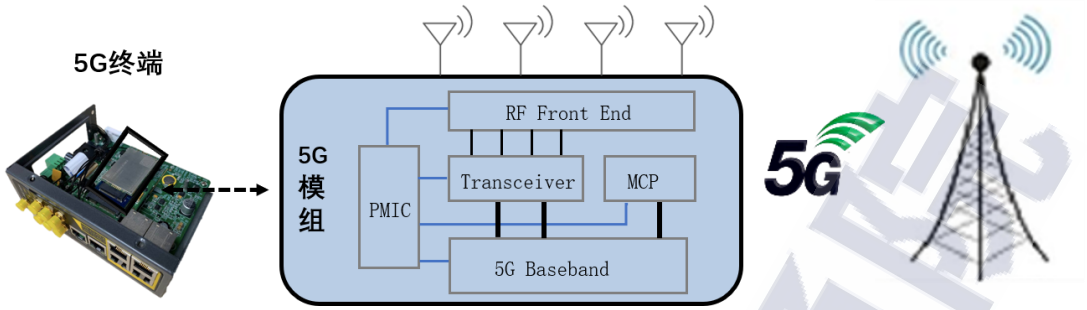


来源：中国信息通信研究院

图 19 5G TSN 细分领域专利分布

（二）产业短板终端模组加速供给

“5G+工业互联网”通用型和定制型模组同步发展。5G 通信模组是处于终端感知层与网络层之间的关键环节，是将多种芯片器件进行再次封装设计并嵌入多种软件协议，可快速为终端设备提供 5G 通信能力的核心电子元器件。5G 通信模组的发展与应用代表着工业互联网与 5G 技术生态融合的状况。5G 通用模组是指仅满足 5G 标准通信功能模组。5G 定制功能模组是指在满足标准通信功能的情况下，开发不同的软硬件功能来适用于行业客户的特殊功能，如：5G LAN、5G 精准授时、5G 网络切片、5G-V2X 等功能。通用型模组、定制型模组发展路径同步推进，以期满足不同场景，加速模组提质降本。我国头部模组厂商如芯讯通、移远通信、广和通、鼎桥等已经能够为客户提供定制化软硬件在内的一体化 5G 模组解决方案。



来源：芯讯通无线科技（上海）有限公司

图 20 5G 通信模组架构图

“5G+工业互联网”终端不断丰富呈现两大发展特点。得益于“5G+ 工业互联网”示范项目的应用与探索，5G 工业终端百花齐放，包括 5G 工业路由器、5G 工业网关、5G DUT 配网终端、5G 摄像机、5G 工控机、5G RTU、5G PLC、5G AGV 小车、5G 无人机、5G 机器人、5G 工业 AR/VR 等。目前商用落地最多的是 5G 工业路由器和 5G 工业网关，其次为 5G 摄像机和 5G DTU 配网终端。5G 工业终端应用与发展两大特点。**一是**从终端类型上逐渐由单数据传输功能转向为多功能设备，如：设备从借助 5G 工业路由器通过 WiFi 进行简单数据传输，逐渐转变为通过 5G 工业网关进行数据协议转换后直接传输。**二是**从应用方式上逐渐由借助外部设备间接使用 5G，转向嵌入式设备直接使用 5G，如：5G 摄像头、5G 无人机、5G 机器人等。另外一些功能定制型模组也已经开始商用，如 5G 精准授时功能已经部分应用于电网配网终端等。

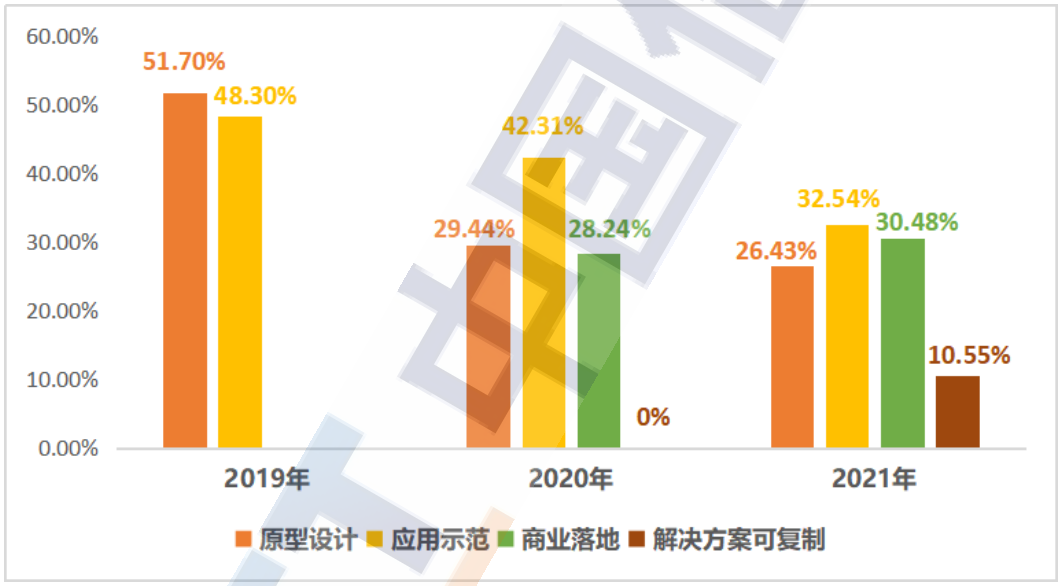
“5G+工业互联网”模组终端从两方面破局短板。当前 5G 商用模组主要是遵循 3GPP R15 协议，在技术上具有一定的局限性，并不能满足所有工业设备低时延控制、高可靠性等需求。居高不下的成

本也在一定程度上阻碍了 5G 工业融合终端的发展。**在技术方面，**5G 模组将会向符合 3GPP R16&R17 标准趋势的方向演进，逐步满足低延时高可靠工业应用场景。**在成本优化方面，**伴随垂直行业应用 5G 终端落地加速，将从以下两个方向推动工业 5G 模组市场价格降低。**一是从“定制化功能模组”到“行业定制标准功能模组”。**工业互联网垂直行业的多样性、复杂性导致模组研发初期很多特殊功能是定制化开发，“定制型模组”成本远高于“通用模组”。通过探索垂直行业同类型客户的共性化功能需求，可以从成本和标准规范上快速推动所对应行业 5G 终端落地。**二是多层次多方案推动 5G 通用模组价格快速下降。**通过采用国产芯片方案、研发少天线方案、开发仅支持 SA 网络的模组和未来轻量化 5G 模组等举措，减少模组和终端天线成本。

（三）垂直领域商业模式雏形渐出

“5G+工业互联网”成为 5G 行业应用中的最重要探索方向，属于技术融合领域，需要多方协同共同推进。工业互联网产业联盟于 2020 年 10 月开展第一批“5G+工业互联网”典型解决方案征集，从落地的解决方案来看，主要由基础电信企业、工业企业、设备商等通力合作完成。基础电信企业作为 5G 网络的建设者，在促进合作方面具有先发优势，积极开展工业 5G 应用探索，工业企业做为直接需求方，在 5G 应用探索上发挥关键作用。设备商积极研发适用于工业场景下的终端等产品，并与需求方探索合作研发模式，参与具体 5G 工业应用场景的项目研发落地。

根据“绽放杯”相关数据统计，2021 年“绽放杯”大赛中工业领域项目成熟度进一步提升。2019 年，一半以上的项目都处于“原型设计”的初级阶段，这一阶段比例在今年仅为 26%。2021 年已有超过 10%的项目实现“解决方案可复制”，在不同企业实现落地。从产品创新扩散角度来看，参赛项目通过原型设计完成功能布局，再通过试点示范确保总体功能设计在商业环境中可行，进而逐步推进商业落地，再通过增加投资规模扩大产量，将解决方案在不同场景下实现复制。



来源：中国信息通信研究院

图 21 2019-2021 年“绽放杯”大赛工业领域项目成熟度对比

“5G+工业互联网”的发展，创造出更多垂直细分行业机遇，带来“1+1>2”的效果。例如，在矿山行业 5G 应用中，5G 行业专网建设、井下 5G 终端的改造升级，为集成服务商、基础电信企业、5G 设备商、煤矿装备制造商、隔爆改造商、应用平台开发者等创造新的价值空间。以“无人巡检”场景为例，工人头盔改造加装具备

5G 通讯能力 AR 眼镜，可用于作业巡检、远程协助和应急指挥等。矿用系统的自动化集成商，也是该场景的解决方案提供商，负责做集成研发、头盔改造以及安标认证申请；专用设备制造商负责提供 AR 眼镜；设备商负责终端设备部署场景下与现有网络打通；运营商为网络建设运营方，同时也扮演了整体解决方案总集成服务角色。另有煤炭行业相关标准制定者、第三方检测认证机构也为产业链中关键环节。

（四）产业公共服务平台不断构建

《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》中强调，要建设“5G+工业互联网”测试床，提升融合创新应用能力，打造公共服务平台。一是鼓励企业、高校和科研机构、产业联盟等联合建设“5G+工业互联网”技术测试床，开展融合技术、标准、设备、解决方案的研发研制、试验验证、评估评测等工作。二是面向“5G+工业互联网”10 个重点行业，鼓励各方联合建设行业应用测试床，提升垂直领域的 5G 应用创新能力。在这个背景下，一批“5G+工业互联网”测试床和联盟实验室已成功创建，为业界提供测试环境和实践探索参考。

表 4 “5G+工业互联网”在建测试床及实验室（部分）

序号	测试床	实验室
1	5G 智能电网测试床项目	中国移动上海产业研究院、 南方电网
2	基于 5G 的配电网继电保护应用研究	中国联通、联通雄安产业互联网
3	基于 5G MEC+边缘智能的 AI 跨边云协同训练推理测试床	中国电信、瑞斯康达

4	基于 5G 网络连接的智慧工厂测试床	湖南华菱湘潭钢铁、中国移动
5	基于“5G+工业互联网”的无忧智能工厂	鸿富锦精密电子、中国电信成都
6	5G 智慧矿山测试床	内蒙古智能煤炭、中国移动
7	基于 5G MEC 网络的“数据驱动”模式下的智慧工厂项目	博世汽车、中国电信苏州
8	基于 5G 确定性网络的工业互联网融合应用	江苏亨通光电、中国移动苏州
9	5G+机器视觉+大数据分析在流程行业的应用	浙江蓝卓工业互联网信息技术有限公司
10	基于大规模定制模式的智能+5G 工业应用测试床	青岛海尔工业智能研究院
11	基于 5G 网络连接的工业智能化应用测试床	中国移动上海产业研究院、广西玉柴机器股份有限公司
12	5G+工业确定性网络实验室	中兴通讯股份有限公司
13	5G+TSN 联合测试床	中国信息通信研究院、中国移动、诺基亚贝尔、华为、新华三、高通、Intel、艾灵网络

来源：中国信息通信研究院

六、接续发展合力推进

一是全力推动产业链补链强链。针对供给侧工业 5G 芯片、模组等薄弱环节，鼓励产业界、高校和科研院所联合研发，按行业、场景推进，加快产业化进程。针对 5G 工业网关、工业 CPE 等通用型接入设备，鼓励相关机构加速设备检测、认证环节，加速产业推广，让探索企业能在现有产线不做大的变动前提下，方便灵活的接入终端设备，迅速开展探索应用。针对具备5G通信能力的无人机、AGV 等融合终端产品，鼓励联盟协会等第三方机构促进资源对接、助力品牌建设、形成典型解决方案，迅速培育细分产业。推动运营商、

行业针对特定工业终端进行集采，促进5G工业模组、终端成本降低，丰富产业链工业终端类型。

二是适度加快新型基础设施建设。按照“两新一重”战略部署，把5G、工业互联网新型基础设施建设，和相关行业重大工程项目结合起来，加大新基建投入，加快2B 5G网络基础设施建设速度，提高工业企业5G网络覆盖率。加快建设高质量园区网络，建设“5G+工业互联网”融合应用先导区，建立平台、网络、终端、应用的端到端应用示范，提供参观、技术交流、测试、设计等服务，引领、指导行业建设和发展。探索建设园区级5G边缘云平台，加强数据安全和隐私保护，充分利用有限网络资源服务多家企业。探索通过网络共建共享建设，降低企业建网用网成本，为中小企业提供“先用后建”甚至“只用不建”的探索条件。

三是加强融合应用的深度和广度。运营商、通信企业、工业互联网企业和智能制造企业需加强跨界合作和技术融合，加速创新“5G+工业互联网”的关键技术、性能、形态、模式等，实现融合应用场景的深度与广度的进一步拓展，推动产业应用能力成熟并渗透到工业生产制造的每个环节，全面提升智能化水平，最终实现“5G+工业互联网”对工业制造全产业链、全价值链、全流程的覆盖。加快5G全连接工厂建设指导原则的研制，出台5G全连接工厂建设的路径和标准，加强5G全连接工厂示范推广，规模化推进对5G全连接工厂建设。

四是鼓励探索新型业务合作模式。可参考“合同能源管理”模式，运营商与工业企业以契约形式约定项目的提质增效目标，为实现目标向工业企业提供必要的解决方案，工业企业以实际效益支付运营商的投入及其合理利润，探索运营商与工业企业商业合作新模式、新机制。借鉴“5G 产业基金”建设模式，促进产融结合，充分发挥资本市场力量。设备商、工业企业等主体可立足自身优势，充分整合垂直行业资源，积极担当解决方案集成商角色。

缩略语

5G	第五代移动通信技术	5th-Generation
5GC	5G 核心网	5G Core Network
MEC	多接入边缘计算	Multi-access Edge Computing
UPF	用户面功能	User Plane Function
TSN	时间敏感网络	Time-Sensitive Network
LAN	局域网	Local Area Network
NPN	非公共网络	Non-Public Network
CPE	客户前置设备	Customer Premise Equipment

中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300041

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn