



综述

“5G+工业互联网”行业应用综述

于青民^{1,2}, 黄颖^{1,2}, 汪卫国¹, 张倩¹

(1. 中国信息通信研究院, 北京 100191;

2. 互联网与工业融合创新工业和信息化部重点实验室, 北京 100191)

摘要: 5G 作为信息通信行业演进升级的重要方向, 其低时延、高可靠、大带宽特性, 与工业互联网高可靠、低时延需求紧密匹配。5G 与工业互联网加速融合创新发展, 产业界开展了多维度研究与实践。围绕当前“5G+工业互联网”发展的五大重点行业, 从政策、市场、技术、产品、应用等维度分析了当前“5G+工业互联网”的发展现状。

关键词: 5G; 工业互联网; 网络建设; 应用创新

中图分类号: TN399

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022106

Summary of the applications of 5G and industrial internet

YU Qingmin^{1,2}, HUANG Ying^{1,2}, WANG Weiguo¹, ZHANG Qian¹

1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China

2. Key Laboratory of Internet and Industrial Integration Innovation, MIIT, Beijing 100191, China

Abstract: As an important direction for the evolution and upgrading of the information and communication industry, 5G has the characteristics of low delay, high reliability and large bandwidth, which closely match the high reliability and low delay requirements of the industrial internet. 5G and industrial internet have accelerated the integration, innovation and development, and the industry has carried out multi-dimensional research and practice. Focusing on the five key industries in the development of “5G + industrial internet”, the current development status of “5G + industrial internet” was analyzed from the dimensions of policy, market, technology, products and application.

Key words: 5G, industrial internet, network construction, application innovation

0 引言

“5G+工业互联网”助力传统产业转型升级, 推动工业化与信息化在更广范围、更深程度、更高水平上实现融合发展。目前, 我国“5G+工业互联

网”技术在装备制造、钢铁、采矿、港口、电力五大行业中深入实践。本文围绕我国“5G+工业互联网”发展的五大重点行业, 从政策、市场、技术、产品、场景等维度进行综述。在场景部分, 重点描述了现有的行业痛点和难点, 针对痛点难点, 总结

收稿日期: 2021-11-03; 修回日期: 2022-03-18

通信作者: 汪卫国, wangweiguo@caict.ac.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2020YFB1712605)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2020YFB1712605)

5G、工业互联网技术行业应用情况。最后,提出推进我国“5G+工业互联网”发展的建议。

1 “5G+工业互联网”行业发展整体情况

1.1 国家支持政策加码升级^[1]

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,对5G在工业互联网的试验应用进行部署。此后,“5G+工业互联网”相关支持政策不断加码升级,为行业的发展提供了强有力的政策支持。截止到2022年3月,国家层面出台了《工业互联网网络建设及推广指南》《“5G+工业互联网”512工程推进方案》等10余份政策文件指导“5G+工业互联网”发展,在技术标准、解决方案、技术产业、创新应用、资源供给及行业发展等各方面提出了政策要求和指引。在采矿行业,工业和信息化部、发展改革委、自然资源部联合发布《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)》,提出加快5G、人工智能、工业互联网等新一代信息通信技术与有色金属行业融合创新发展,切实引导有色金属企业智能升级。在电力行业,国家发展改革委、国家能源局、

中央网信办、工业和信息化部联合编制《能源领域5G应用实施方案》,聚焦电厂、电网等,从典型应用场景、应用实施方案等落地角度支持产业实践。在钢铁行业,工业和信息化部、发展改革委、生态环境部联合发布《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》,提出开展钢铁行业智能制造行动计划,部署推进5G、工业互联网等技术在钢铁行业的应用。

1.2 市场加大建网投入力度

运营商、设备商、网络服务商、云服务商等产业供给侧加大市场投入,以主流运营商最为突出,网络服务商中出现5G边缘云服务提供商等新的细分主体。运营商基于5G网络建设运维的优势提出解决方案,成为新市场格局的牵头方。当前,“5G+工业互联网”的建网模式主要包括基于5G切片技术的虚拟专网模式、基于UPF/MEC下沉部署的混合组网模式以及基于频谱资源专享的独立专网模式等。以此3种部署方式为核心,中国移动推出5G专网“优享”“专享”“尊享”3种模式^[2],中国联通提出虚拟专网、混合专网和独立专网解决方案^[3],中国电信提供“致远”“比邻”“如翼”3类服务模式^[4]。5G虚拟混合组网模式如图1所示,基于UPF/MEC下沉的混合组网模式,正成为我国工业企业探索5G应用的主流建网模式,在装备制造行

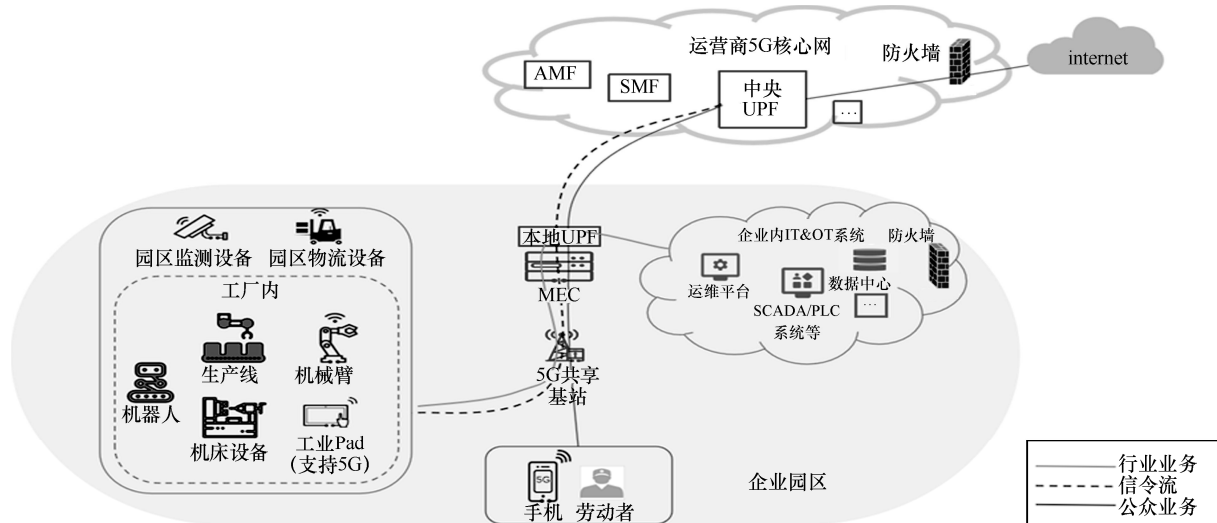


图1 5G虚拟混合组网模式



业、钢铁行业、港口行业，该部署模式较为常见。在采矿行业，基于频谱资源专享的独立专网模式探索较多。在电力行业，基于 5G 切片技术的广域虚拟专网模式开展试点。

截至 2021 年 12 月，我国基础电信企业已建成 5G 基站超 139.6 万个。适用于工业场景的低时延、高可靠、广覆盖高质量外网延伸至全国 300 多个城市，连接超过 18 万家工业企业。新型工业以太网、工业无线、边缘计算等新技术加速应用，领先省份企业生产设备联网率接近 50%， “5G+工业互联网” 内网改造在建项目超过 2 000 个。

1.3 技术热点突出布局活跃

企业围绕 5G 网络部署关键技术积极参与国际标准研制，以推动业界达成共识。以 5G TSN (TSN over 5G NR)、5G LAN (局域网)、5G NPN (非公众网络)、边缘计算为代表分析，早在 2016 年就有企业布局 5G TSN 解决方案专利，近 3 年来，随着华为、OPPO、VIVO 持续加大研发投入，国内企业的专利年度申请量已经超过欧美企业。在 5G LAN 型服务方面，华为等厂商围绕 5G-LAN 之间互联互通技术已申请了较多专利。在 5G NPN (非公众网络) 方面，我国企业专利主要围绕非公众网络的配置方法、终端如何分别接入非公众通信网络和公众通信网络的方案等具体技术问题。从创新主体来看，通信业龙头企业、科研院校和运营商是专利申请主力，但随着行业应用的探索加深，越来越多的产业链上下游主体将参与到技术创新之中。

5G TSN 细分领域专利分布如图 2 所示。

工业应用促使 5G 网络技术不断创新。灵活便捷、节约成本的 5G 行业专网建设在工业企业部署 5G 的过程中需求很高，轻量化 5G 核心网 (5G core network, 5GC) 成为探索热点，实现方式可基于云原生技术针对标准 5G 核心网功能进行定制化裁剪，目前在港口行业、钢铁行业进行了探索应用。在虚拟专网的部署上采用企业专用的用户面功能 (user plane function, UPF)，实现控制面共用、用户面 UPF 专用，可实现企业用户数据不出园区。由于部署位置往往分为多个层级，UPF 设备也定制形成多样化的生态，应用场景将会面临多厂家的情况，因此单一 SMF 与 UPF 之间的 N4 接口的打通也将是落实专用 UPF 应用的关键环节，成为产业热点技术，目前在装备制造行业的 UPF 定制化应用形态较多^[5]。伴随 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。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^[6]。目前，5G+TSN 技术在装备制造行业有初步探索。

1.4 行业定制终端产品涌现

据不完全统计，我国企业已经发布的 5G 模组款数接近 50 款，通用模组和应用领域明确可用于

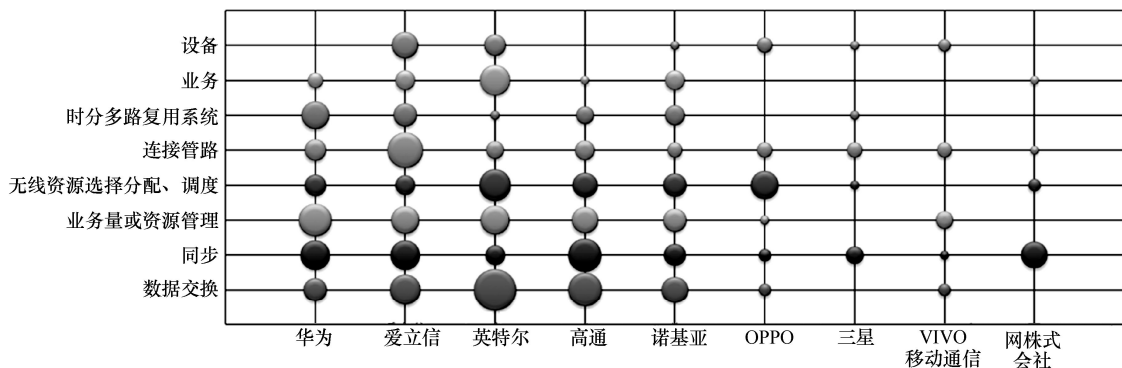


图 2 5G TSN 细分领域专利分布

工业的模组超过 20 款。5G 工业融合终端现阶段以网关等数据终端形态为主,此外还有具备 5G 通信能力的融合终端设备。在装备制造行业出现的终端形态最多,包括具备 5G 通信能力的 AGV、工业 AR 眼镜、MES 终端、工业相机等融合终端设备。在钢铁行业,有用于环境监测的 5G 智能摄像头、智能传感器等,以及具备 5G 通信能力的智慧天车设备等。在采矿行业,有集成 5G 通信模块的露天矿矿卡、井下掘进机等设备,也有具备 5G 通信能力的井下巡检机器人、智能摄像机、头盔等融合终端,另有瓦斯环境下的防爆基站等终端设备。在港口行业,有具备 5G 通信能力的理货用摄像机,高精度位姿测量仪器等设备。在电力行业,有具备 5G 通信能力的巡线无人机、检修用 AR 眼镜、输变配巡检机器人等终端设备。此外,基于 5G 网络的生产实时性控制平台、环境监测和行为识别平台也在各个行业广泛应用。

2 “5G+工业互联网”典型行业应用

5G 凭借增强移动宽带 (eMBB)、海量机器类通信 (mMTC) 和超可靠低时延通信 (URLLC) 三大场景、八大关键能力以及更灵活的网络架构,相比于以往任何一代无线通信技术都更能满

足工业对于无线连接的需求。2019 年国际通信标准化组织 3GPP 冻结了 Release15 (Rel-15) 标准,实现了 eMBB 场景需求,峰值速率为 10~20 Gbit/s,带动了一大批使用机器视觉和高清视频传输技术的 5G 工业应用。2020 年冻结的 Rel-16 主要侧重 URLLC 场景,时延得到进一步的降低,端到端时延为 5 ms,空口时延最低可达 0.5 ms。进一步催生了全要素连接工厂、核心控制环节应用等。“5G+工业互联网”演进标准路标如图 3 所示。

我国“5G+工业互联网”重点行业主要应用场景图谱如图 4 所示,“5G+工业互联网”在装备制造行业、钢铁行业、采矿行业、港口行业、电力行业应用场景覆盖范围不断深入,已涵盖研发设计、生产制造、运营管理、销售配送、产品服务等产品全生命周期,可归纳为远程设备操控、现场辅助装配、环境实时监测等诸多场景。

在装备制造行业^[7],工厂正向大批量、个性化、定制化、柔性化生产等方向转型升级,以移代固柔性生产、机电分离快速迭代、机器换人提质降本增效等需求迫切。5G 技术凭借高速率、低时延、大连接的特性,与人工智能、大数据、AR/VR 等新一代信息通信技术融合,可推动实现智能工厂的内部整合升级,突破数据传输壁垒和信息交

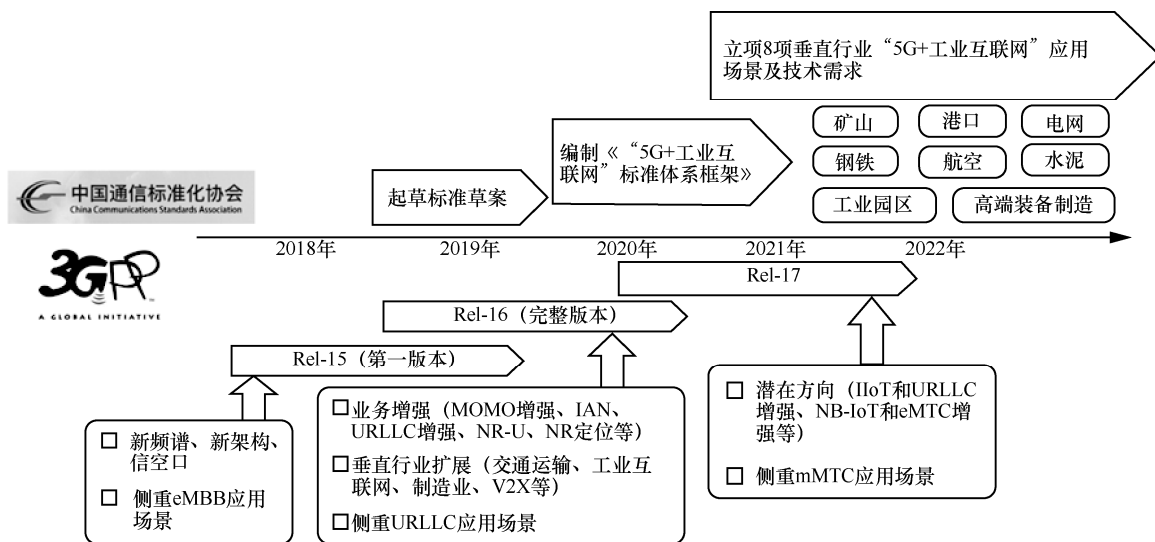


图3 5G+工业互联网”演进标准路标

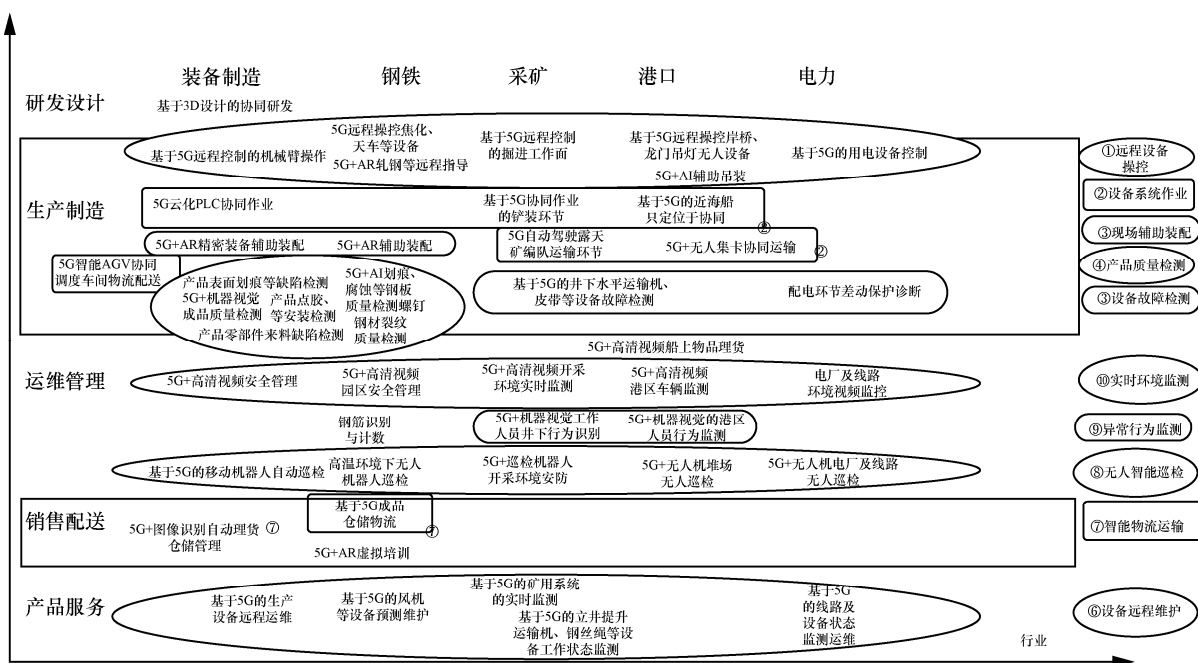


图4 我国“5G+工业互联网”重点行业主要应用场景图谱

互壁垒，重新定义工业制造的生产组织方式。5G网络通过无线传输、无线控制，改变了设备之间的物理位置依存关系和连接模式，实现不同生产要素间的高效协同，进一步助力部分生产制造环节“去尾长脚”，应用涵盖从5G全连接工厂、在线协同设计、AR/VR辅助装配、云化机器人协同作业、厂区大规模数据采集、环境监测、工艺质量检测、远程运维等诸多场景。

在钢铁行业^[8]，生产的质量控制、绿色环保等要求是当前急需解决的痛点，行业正以工艺优化为切入点，加速向设备运维智能化、生产工艺透明化、供应链协同全局化、环保管理清洁化等方向转型升级。5G技术凭借高速率、低时延、大连接的特性，可与钢铁行业生产流程充分结合，助力生产流程提升质量和效率。利用5G技术，在铁前环节进行高清视频回传，实现设备远程操控和皮带运输机纠偏控制等。在炼铁、炼钢、铸造、轧钢等环节，可实现带钢表面5G质量检测，上下物料工业机器人协同安全作业，同时可完成海量数据实时采集，助力生产设备检测和维护。在仓储物流环节，综合利用

5G、北斗/GPS等技术，可实现物流管理、物料跟踪、自动化立体库等应用^[9]。

在采矿行业，矿山爆破、矿下采掘等安全生产、复杂地理环境下矿卡的高效运输等要求都是亟须解决的痛点，无人化、少人化、安全生产是矿业行业数字化转型的重要方向。5G具备灵活的融合组网模式、高速率、低时延、大连接的技术特性，成为矿山行业数字化转型的重要手段。在露天矿开采环节借助5G网联技术实现矿卡自动驾驶，减少了装卸、运输等露天矿山上关键生产环节的人工需求，避免矿石砸落风险的同时，提高了各环节间的协同效率^[10]。在井下开采作业环节，5G网络为感知、传输、决策控制、智能开采、异构设备互联互通等需求提供了强有力的支撑，5G使能透明矿井，催生高精度实时定位、虚拟交互应用、生产远程实时控制、井下远程协同运维、井下巡检与安防等应用场景^[11]。

在港口行业^[12]，降低人力成本、提高港口运行效率是急需解决的行业痛点，自动化、智能化、少人化的智慧运营是重要的发展方向。5G技术凭

借高速率、低时延、大连接的特性,可有效支撑港口的船舶停靠区数字化、作业区无人化、仓储区智能化和管理区智能化。5G 网络充分发挥差异化性能优势,既解决了龙门吊、远程岸桥等建设和运维成本高、稳定性与可靠性差的特殊场景需求,又降低了采用有线连接建设和运维成本,催生基于 5G 的港机远控、智能理货、自动驾驶、智能安防、行为监测等典型应用。

在电力行业^[13],用电、配电的精准控制、降低人力成本、提高故障诊断效率是亟须解决的行业痛点,高效、绿色、安全是其数字化转型的重点方向。5G 技术凭借高速率、低时延、大连接的特性,可助力电力行业数字化转型升级。对于泛在电力物联网,5G 通信为电力系统调度、控制、运维等环节带来变革性的改变与提升,在万物互联、精准控制、海量量测、宽带通信、高效计算 5 个方面将具有广泛的应用,实现配电网差动保护等场景、智能配电网 PMU 应用等典型应用场景。

3 “5G+工业互联网”发展展望

工业互联网应用场景多样、需求千差万别、复杂化和个性化程度高,且企业规模形态各异^[14],5G 工业应用短期内爆发式增长、带来显著经济效益难度较大。推进 5G+工业互联网发展需要政产学研用金等社会各界共同发力。

一是加强基础研究和标准研制。加强面向工业场景的 5G 虚拟专网、网络切片等技术研究。伴随 5G 标准的持续演进,加快面向电力、港口、矿山等垂直行业的“5G+工业互联网”融合标准建设,重视 TSN、边缘计算等关键技术专利布局。

二是加快典型应用场景复制推广。鼓励重点行业、重点领域针对性地开展 5G 探索应用,对作用突出、成效明显的典型应用场景,建议政府、联盟、协会等第三方组织以供需对接、解决方案推广等多种形式加快复制推广,加速“现象级”“杀手级”应用培育。

三是有序推进 5G 基础设施建设。统筹协调三大运营商 5G 基站站址规划,优先选择行业较集中、应用潜力大、数字化水平整体较高的工业园区、产业集群等,以园区网络建设形式,夯实供给能力,强化运营商建网集中度和运营服务能力,降低工业企业建网用网成本。

四是全面驱动产业生态构建。针对供给侧工业 5G 芯片、模组等短板,加强研发支持和投入力度,鼓励产业界、高校和科研院所联合研发,加快产业化进程。加速研发工业网关、CPE 等通用型接入设备,以及 VR、工业机器人等新型工业融合终端产品。在解决方案落地过程中,鼓励商业模式和合作模式创新,探索工业 5G 专网试点。

4 结束语

本文从政策、市场、技术、产品、场景角度,对我国“5G+工业互联网”整体发展情况进行总结。整体看,我国“5G+工业互联网”发展较好,探索热度较高,创新成果初显,装备制造、钢铁、矿业、港口、电力等国民重点行业率先实践,涌现出一大批典型应用场景,提质降本增效成果不断显现。针对当前发展阶段,本文提出加强标准研制、加快场景覆盖、夯实网络基础、构建产业生态等发展建议。

参考文献:

- [1] 黄颖,于青民,朱璆,等.“5G+工业互联网”产业政策分析[J].信息通信技术与政策,2020(7): 69-71.
HUANG Y, YU Q M, ZHU Y, et al. A review on industrial policy of “5G + Industrial Internet”[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2020(7): 69-71.
- [2] 中国移动. 中国移动 5G 行业专网技术白皮书[R]. 2020.
China Mobile. China Mobile 5G industry private network technology white paper[R]. 2020.
- [3] 中国联通. 5G 行业专网白皮书[R]. 2020.
China Unicom. 5G industry private network white paper[R]. 2020.
- [4] 中国电信. 中国电信 5G 定制网产品手册[R]. 2020.
China Telecom. China Telecom 5G custom network product brochure[R]. 2020.



- [5] 聂衡, 赵慧玲. 支持行业应用的 5G 核心网方案[J]. 移动通信, 2021, 45(1): 2-5.
NIE H, ZHAO H L. 5G core network solution for industry application[J]. Mobile Communications, 2021, 45(1): 2-5.
- [6] 朱瑾瑜, 张恒升, 陈洁. TSN 与 5G 融合部署的需求和网络架构演进[J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(6): 47-52.
ZHU J Y, ZHANG H S, CHEN J. Requirements and network architecture evolution of TSN and 5G integrated deployment[J]. ZTE Technology Journal, 2021, 27(6): 47-52.
- [7] 靳欣欣. 5G 在装备制造业的应用研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(11): 1-5, 10.
JIN X X. Research on the application of 5G in equipment manufacturing industry[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(11): 1-5, 10.
- [8] 王健全, 李卫, 马彰超, 等. 5G 工业互联网赋能智慧钢铁[J]. 钢铁, 2021, 56(9): 56-61, 73.
WANG J Q, LI W, MA Z C, et al. 5G industrial internet empowers smart steel[J]. Iron & Steel, 2021, 56(9): 56-61, 73.
- [9] 荀志伟, 李维汉, 贾捷, 等. 5G+工业互联网在钢铁行业的应用研究[J]. 邮电设计技术, 2021(7): 73-77.
XUN Z W, LI W H, JIA J, et al. Research on application of 5G+ industrial internet in steel industry[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(7): 73-77.
- [10] 康陈, 郝大雨, 王晓燕, 等. 露天矿山智能网联自动驾驶场景与技术研究[J]. 信息通信技术与政策, 2020(8): 52-58.
KANG C, HAO D Y, WANG X Y, et al. Research on scene and technology of intelligent and connected driving in open mine[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2020(8): 52-58.
- [11] 王国法, 赵国瑞, 胡亚辉. 5G 技术在煤矿智能化中的应用展望[J]. 煤炭学报, 2020, 45(1): 16-23.
WANG G F, ZHAO G R, HU Y H. Application prospect of 5G technology in coal mine intelligence[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(1): 16-23.
- [12] 赵毅, 余娟. 5G 对全球集装箱港口自动化发展的影响及应用[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2020, 43(3): 85-90.
ZHAO Y, YU J. Application of 5G and its influence on the development of container port automation[J]. Journal of Shanghai Ship and Shipping Research Institute, 2020, 43(3): 85-90.
- [13] 王毅, 陈启鑫, 张宁, 等. 5G 通信与泛在电力物联网的融合: 应用分析与研究展望[J]. 电网技术, 2019, 43(5): 1575-1585.
WANG Y, CHEN Q X, ZHANG N, et al. Fusion of the 5G

communication and the ubiquitous electric Internet of things: application analysis and research prospects[J]. Power System Technology, 2019, 43(5): 1575-1585.

- [14] 骆骁, 周进. “5G+工业互联网”发展现状及展望[J]. 中国无线电, 2020(11): 28-31.

LUO X, ZHOU J. Development status and prospect of "5G + industrial Internet"[J]. China Radio, 2020(11): 28-31.

[作者简介]



于青民 (1991-), 女, 中国信息通信研究院技术与标准研究所工程师, 主要从事与 5G、工业互联网相关的技术研究、标准化工作。



黄颖 (1979-), 女, 中国信息通信研究院技术与标准研究所高级工程师、副主任, 主要从事与“5G+工业互联网”、边缘计算、信息模型等相关的技术研究、标准化工作。



汪卫国 (1974-), 女, 中国信息通信研究院数据研究中心高级工程师、副主任, 主要从事 ICT 产业领域新技术新业务跟踪及数据指标体系研究, 重点研究领域为 5G 市场、产业和应用。



张倩 (1985-), 女, 中国信息通信研究院知识产权中心创新发展部高级工程师、主任, 主要从事信息通信领域知识产权、技术及标准化战略研究工作。