

从2B到4B——电信行业与垂直行业的供需协同倍增发展



From 2B to 4B—Supply-Demand Synergy and Value-Multiplying Development of Telecom Industry and Vertical Industries

钟章队/ZHONG Zhangdui^{1,2,3}, 官科/GUAN Ke^{1,2,4},
丁建文/DING Jianwen^{1,2,3}, 陈姝/CHEN Shu⁵

(1. 北京交通大学电子信息工程学院, 中国北京 100044;
2. 北京交通大学宽带移动通信铁路行业重点实验室, 中国北京 100044;
3. 轨道交通安全协同创新中心, 中国北京 100044;
4. 智慧高铁系统前沿科学中心, 中国北京 100044;
5. 佳讯飞鸿(北京)智能科技研究院有限公司, 中国北京 100044)
(1. School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. Key Laboratory of Railway Industry of Broadband Mobile Information Communications, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

3. Collaborative Innovation Center of Railway Traffic Safety, Beijing 100044, China;
4. Frontiers Science Center for Smart High-Speed Railway System, Beijing 100044, China;
5. Jiaxun Feihong Intelligent Technology Institute, Beijing 100044, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1010

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20240723.1647.006.html>

网络出版日期: 2024-07-25

收稿日期: 2023-12-10

摘要: 为更好地发展下一代移动通信技术, 加快5G/6G建设, 需将发力点由“面向企业”的2B (To Business) 向“为了企业”的4B (For Business) 转变。从2B到4B, 是从供给侧主导向需求侧主导的转变, 是从“供给外生赋能”向“供需内生协同”本质的转变。发展5G/6G公网, 需要树立全生命周期的可持续发展理念, 深度理解目标企业的核心诉求, 充分发挥企业的主体作用。应由垂直行业主导公网应用的标准制定与生态建设, 设计可复制、可定义的商业模式, 从顶层设计开始, 将数字技术融入到垂直行业数字化转型之中, 实现5G/6G公网发展从2B到4B的转变, 创造电信行业与垂直行业供需协同、价值倍增的可持续发展模式。

关键词: 5G; 6G; 2B; 4B; 垂直行业; 公网

Abstract: In order to better develop the next generation mobile communication technology and accelerate the construction of 5G/6G, the focus needs to be shifted from 2B (To Business) to 4B (For Business). From 2B to 4B, it is a change from supply-side dominance to demand-side dominance, and from "exogenous empowerment of supply" to "endogenous synergy between supply and demand". To develop 5G/6G public-private network, it is necessary to establish the concept of sustainable development over the entire life cycle, deeply understand the core demands of the target enterprises, give full play to the main role of enterprises. Vertical industries should lead the standard setting and ecological construction of public-private network applications, and design replicable and definable business models. Starting from the top-level design, the digital technology is integrated into the digital transformation of vertical industries, realizing the transformation of the 5G/6G public-private network development paradigm from 2B to 4B, and creating a sustainable development model of supply-demand synergy and value multiplication for both telecommunication industry and vertical industries.

Keywords: 5G; 6G; to business; for business; vertical industry; public-private network

引用格式: 钟章队, 官科, 丁建文, 等. 从2B到4B——电信行业与垂直行业的供需协同倍增发展 [J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(S1): 67-75. DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1010

Citation: ZHONG Z D, GUAN K, DING J W, et al. From 2B to 4B—supply-demand synergy and value-multiplying development of the telecom industry and vertical industries [J]. ZTE technology journal, 2024, 30(S1): 67-75. DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1010

1 无线专网发展历史与趋势

2019年6月5G商用牌照发放, 中国用4年时间建成了全球规模最大的5G网络, 5G融入到了超六成的国民经济大

中。2023年6月, 国际电信联盟 (ITU) 大会达成了6G愿景共识, 标志着6G开启新阶段^[1]。如何使5G、6G更好地与实体经济融合, 驱动经济、政府和社会的数字化转型, 成为全社会共同关心的话题。

在利用5G赋能千行万业的时代背景下, 由电信网络运营商建设, 供公共用户使用的无线公网难以适应行业市场多样化、特殊性的需求^[2]。为满足不同行业内部的组织管理、

基金项目: 中央高校基本科研业务费项目 (2022JBQY004、2022JBXT001); 国家自然科学基金项目 (62271043、62371033、62171021); 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目 (N2023G055); 教育部基金项目 (8091B032123)

安全生产、调度指挥等需要，亟需依托网元虚拟化、功能服务化和编排智能化的技术保障，建设无线专网^[1]。无线专网通信在集群调度、应急通信、即时通信等方面有着独特优势，广泛应用于国家安全、交通管理、建筑施工、机械制造等国民经济重要领域。

1.1 无线专网的发展历程

至今，公众移动通信系统经历了从1G到5G的发展，无线专网也伴随着移动通信的技术发展经历了1G到5G的更迭，技术标准制式多样。

第1代无线专网以模拟对讲和专用陆地集群移动通信(MPT-1327)为代表，用于公安、铁路、民航、政务等相关行业的语音通话、数据传输、调度指挥等业务，主要代表性的频段包括150 MHz、350 MHz、400 MHz、450 MHz等。

第2代无线专网包括铁路数字移动通信系统(GSM-R)、泛欧集群无线电(TETRA)、集成数字增强型网络(iDEN)、警用数字集群(PDT)、Project 25(P25)、数字移动无线电(DMR)、数字专用移动无线电(dPMR)等多种制式。GSM-R主要应用于铁路，提供调度通信、列控安全数据传输等业务。TETRA和iDEN主要用于城市轨道交通、公共安全、民航等。PDT为国产制式集群，主要用于公安、应急、无线政务等，提供集群调度通信业务，频段与TETRA和iDEN相同。DMR/dPMR主要用于商业和工业用户。

第3代无线专网包括全球开放式集群架构(GoTa)、多载波无线信息本地环路(McWiLL)等制式。GoTa基于时分同步码分多址(TD-SCDMA)技术进行定制开发，增加了图像传输，用于公共事业和社会服务、交通运输等行业。McWiLL是信威通信研发的移动宽带无线接入系统，主要用于油田、应急通信等场景。

第4代无线专网包括宽带集群通信(B-TrunC)、城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)和铁路宽带移动通信系统(LTE-R)等制式。B-TrunC是基于分时期演进(TD-LTE)的“LTE数字传输+集群语音通信”专网宽带集群系统标准，用于矿山、政务、机场、港口、电力、石油、矿山等。LTE-M是针对城市轨道交通需求设计的TD-LTE系统，调度语音采用B-TrunC制式，基于通信的列车控制系统(CBTC)和运行监控等业务采用标准LTE。LTE-R是针对铁路系统设计，调度语音早期采用公网对讲(PoC)制式，后期演进至关键任务服务(MCX)制式。

第5代无线专网包括5G独立专网、5G公专网等，此时5G面向企业(To Business, 2B)、垂直行业等概念开始出现。第3代合作伙伴计划(3GPP)定义了两种5G专网部署

模式：公网专用和独立部署。公网专用是垂直行业可通过与运营商5G公网共享无线接入网(RAN)，或者共享RAN和核心网控制面，或者端到端共享5G公网的方式来部署5G专网；独立部署是垂直行业独立部署从基站到核心网的整个5G网络，与运营商5G公网完全隔离^[3]。

1.2 国际5G专网专用频谱划分情况

以德国、法国、瑞典、英国、日本、韩国等为代表的工业发达国家十分重视5G独立专网的发展。

截至2023年5月，德国联邦网络局在3 700~3 800 MHz频率范围内发放了321份5G本地网络频谱许可，服务对象包括奥迪、大众、宝马、空客、德铁、赫希曼、西门子等众多国际知名企业^[4-5]，覆盖汽车工业、研究开发、物流自动化、道路运输、铁路运输等多个行业。截至2022年10月，法国共计核发13张3.8~4.0 GHz频段100 MHz本地5G专网实验执照，包含智慧医疗、智慧工厂与智慧城市等应用，目前取得5G专网实验执照的垂直行业单位包括法国原子能和替代能源委员会(CEA)、能源管理商Schneider Electric、法国电力集团(EDF)、史特拉斯堡大学附设医学研究中心、法国铁路公司(SNCF)等^[6-7]。根据英国监管机构报告，自2019年推出共享频率接入许可计划以来，已发放了1 600余个许可。目前在3.8~4.2 GHz频段约有500个许可^[6]。2021年11月，瑞典监管机构在3.5 GHz频段规划了40 MHz用于5G专网，制定了简明的管理办法并收取低额的频率使用费^[6]。截至2022年11月，日本监管机构总务省(MIC)已向超126家机构发放了149张区域5G频率许可证，申请主体包括制造企业、电视公司、IT服务/系统开发商、政府机构、教育科研机构等，积极推动区域5G专网的行业应用^[4,8]。韩国科学技术情报通信部(MSIT)于2021年1月26日发布《5G专网政策方案》，当时初步规划开放28 GHz(28.9~29.5 GHz)频段供5G专网使用。其后，MSIT于2021年6月29日发布《5G专网频率供应计划》，增加开放4.7 GHz(4.72~4.82 GHz)频段供5G专网使用^[9]。截至2023年3月，MSIT已向10余个申请单位发放了专网频率许可。2020年11月，欧洲电子通讯委员会(ECC)发布ECC决定(20)22号文件^[10]，为铁路移动无线电业务协调分配874.4~880 MHz、919.4~925 MHz及1 900~1 910 MHz专用频段，实现不同国家间使用统一频段的铁路无线通信系统进行跨境运输。这一铁路专网频段的分配极大地推动了未来铁路移动通信系统(FRMCS)的标准化制定、技术攻关、装备研制与生态建设。

表1针对2023年10月之前的国际5G专网专用情况进行了

▼表1 国际5G专网专用频谱划分现状

国家	频率	行业/应用/申请主体现状
德国	3.7~3.8 GHz	覆盖汽车工业、研究与开发、物流自动化、道路与运输等多个行业
法国	3.8~4.0 GHz	包含智慧医疗、智慧工厂与智慧城市等应用
英国	3.8~4.2 GHz	已发放1 600余个许可,在3.8~4.2 GHz频段约有500个许可
瑞典	3.5 GHz	制定了简单的管理办法并收取非常低的频率使用费
日本	4.6~4.9 GHz、28.2~29.1 GHz	申请主体包括制造企业、电视公司、IT服务/系统开发商、政府机构、教育科研机构等
韩国	4.72~4.82 GHz、28.9~29.5 GHz	覆盖水电、航空、医疗、智能管理、交通运输等多个行业

注:上述发达国家对垂直行业专网频谱授权的成功实施,为中国5G专网频谱划分提供了借鉴和参考。

归纳整理。由表1可知,5G专网专用频谱主要集中在6 GHz以下(Sub-6 GHz),应用行业主要分布在工业制造、IT服务、科研教育等方面。

上述发达国家对垂直行业专网频谱授权的成功实施,为中国5G专网频谱划分提供了借鉴和参考。

1.3 中国5G行业专用频谱需求及相关政策

1) 新频率划分的顶层设计和意义

2023年5月23日,工信部第62号令发布新版《中华人民共和国无线电频率划分规定》(简称《划分规定》),自2023年7月1日起施行。《划分规定》首次将6 GHz上半段(U6G)的6 425~7 125 MHz共700 MHz全部或部分频段划分用于5G/6G系统。国际电信联盟2023年世界无线电通信大会(WRC-23)还将进一步讨论决定5 925~6 425 MHz共500 MHz频段的最终分配。同时,中国还新增了24.25 GHz~27.5 GHz、37 GHz~43.5 GHz、66 GHz~71 GHz共14.75 GHz带宽的毫米波频段用于发展5G/6G。频率的确定是产业链起步的重要标志,能够支持5G/6G移动通信长远发展,同时保障各行业对频谱资源的中长期需求^[1]。

长期以来,中国无线专网发展保持着对无线电频率的旺盛需求,支撑着国民经济、军队、国防、政务等建设和发展。特别是十八大以来,数字中国、数字经济、新基建、网络强国、海洋强国、制造强国、交通强国等一系列政策规划和战略文件,释放出对无线专网的大量刚需。企业数字化转型加快进行,迫切需要5G连接,以提供大带宽、低时延、高可靠等确定性保障^[2]。2022年9月工信部下发了《5G全连接工厂建设指南》,指出“十四五”时期,要在全国重点行业领域,推动万家企业开展5G全连接工厂建设,建成1 000个分类分级、特色鲜明的工厂,打造100个标杆工厂,推动5G融合应用纵深发展。2023年中国发布《数字中国建设整体布局规划》,提出建设数字中国是数字时代推进中国式现代化的重要引擎,优化升级数字基础设施,大力推进产业数字化转型。5G行业专网被视为赋能千行万业、促进行业信

息化、数字化、网络化、智能化转型的锚点,同时也是实现5G发展重点从民用消费领域转向以安全生产为主要目标的产业互联网领域的关键举措^[3],是行业高质量发展的必经之路。

2) 5G的行业专用频谱需求及其划分

无线专网发展到今天,5G公网专用和5G专网专用是发展5G行业应用的两种重要模式。不同的部署模式适用于不同的场景,也决定了网络最终的能力和不同的生态。

当前,工业制造、钢铁、港口、矿山、电力、铁路、城市轨道交通等行业均对5G应用提出了需求^[3],垂直行业可根据自身特点,选择适合的5G部署模式。部分垂直行业由于安全生产作业、保障运输安全的红线,要求移动通信网络具有至少99.999%的高可靠性、双网覆盖的高冗余性、7×24小时的高可用性、网络及业务定制开发和运营维护的自主可控性、避免数据泄露和恶意攻击的高安全性等。5G公网专用无法为上述特定垂直行业提供定制化、确定性的网络服务,很难根据垂直行业管理和运行需求实时响应,无法与公众网络物理隔离,无法承担网络故障和服务不到位、响应不及时给垂直行业带来的安全作业风险和生命财产损失。上述垂直行业必须自建5G专网才能满足要求。自建5G专网需要国家给垂直行业分配5G专网频率。工信部在2022年11月给商飞发放了一张企业5G专网的频率许可,频率范围为5 925~6 125 MHz和24.75~25.15 GHz。该频段为中高频段,适用于工厂、园区、港口等局域场景,覆盖距离较短,站址密集,投资巨大,无法满足交通等行业对于广域覆盖场景的需求。

以铁路行业为例,随着智能铁路新业务需求的不断涌现和公网2G(GSM)退网带来的GSM-R产业链、生态链快速萎缩^[4],为确保铁路专用移动通信的可持续发展,国铁集团于2020年发布《关于加快推进5G技术铁路应用发展的实施意见》和《铁路5G技术应用科技攻关三年行动计划》,提出到2023年完成铁路5G专网关键技术攻关和主要专用设备研制,开展安全保障、出行服务等领域急需业务试验验证和试

用考核，完成5G专网主要技术标准制定。2023年9月，工信部向国铁集团批复了铁路5G专用移动通信系统（5G-R）试验频率（上行1 965~1 975 MHz，下行2 155~2 165 MHz），支持国铁集团开展5G-R系统外场技术试验，这将快速推动铁路通信技术升级换代，引领中国铁路朝向高质量数智化发展，为实现《数字铁路规划》中提到的2027年铁路数字化水平大幅提升、2035年铁路数字化转型全面完成的目标^[15]奠定了基础。

截至2023年10月，针对中国已发布及正在申请的部分专网专用频段进行了统计，如表2所示。其中，中国交通运输行业专网专频的应用需求大。

3) 对新时代行业无线专网发展的建议

为了更好地促进行业无线专网的生态建设和发展，满足铁路、城市轨道交通、民航、政务、公安等特殊行业对5G专网高可靠性、高安全性、高可用性、自主可控等需求，应尽快研究和布局中国无线专网的专用频谱划分，解决行业专网发展的“卡脖子”难题。

2 5G 2B发展现状与挑战

随着5G商用进程不断加速，行业应用与5G融合已成产业变革大势。从5G开始，技术与需求的底层逻辑开始变化：从服务个人转变为赋能千行百业。构建国家新一代信息基础设施、赋能垂直行业数字化转型升级，成为国家战略。由电信行业供给侧主导，以数字技术赋能产业，从供给侧对应用

场景进行外向开拓的5G 2B业务发展如火如荼。本章将阐述中国5G 2B的发展现状、5G公专网商业模式、5G 2B可持续发展面临的挑战和存在的困难，并为支撑5G 2B可持续发展提出相关建议。

2.1 5G 2B发展现状

2021年，中国发布《5G“扬帆”计划》，大力推进5G行业应用。2022年9月，工信部发布《5G全连接工厂建设指南》，定义了工厂级、车间级、产线级三级应用场景，指引着5G应用向核心生产环境的规模化和纵深发展。产业界参与热度高涨，涌现出众多优秀创新案例，如中兴通讯作为5G设备龙头制造商，不仅帮助垂直行业客户打造全连接工厂，还将位于南京滨江基地的5G生产线打造为“5G全连接智慧工厂”，提出“用5G制造5G”的智能制造理念。2023年6月底，中国垂直行业虚拟专网的数量超过1.6万个，应用案例数超5万个。5G在工业、智慧城市、教育等行业的应用快速增长，成为信息化、智能化转型升级的重要数字底座。

2.2 5G公专网需求侧商业模式

从5G公专网需求侧的角度来看，主要有3种商业模式，其各自的工作方式、适用场景和特点在表3中进行了总结。

一是自建自维（SBSO）：需求企业拥有5G专用频谱，自行投资、建设和发展5G专用网络，自行日常维护和运营

▼表2 中国专网专用频谱划分现状

行业	行业专网	专频频段
民航	5G AeroMACS	5 091 ~ 5 150 MHz
制造	商飞5G制造专网试用频段	5 925 ~ 6 125 MHz、24.75 ~ 25.15 GHz
铁路	铁路专网:GSM-R、5G-R	GSM-R专用频段为885~889 MHz、930~934 MHz； 5G-R试验频段为1 965~1 975 MHz、2 155~2 165 MHz
公路	公路专网	5 905 ~ 5 925 MHz
城轨	LTE-M	1 785 ~ 1 805 MHz
电力	电力专网	223 ~ 226 MHz、229 ~ 233 MHz
政府	政务专网	1 447 ~ 1 467 MHz
U6G频段	/	6 425 ~ 7 125 MHz(CHN45)

AeroMACS:机场场面宽带移动通信系统 GSM-R:铁路数字移动通信系统 5G-R:铁路新一代移动通信系统

▼表3 5G公专网需求侧商业模式

模式	工作方式	适用场景及特点
自建自维(SBSO)	需求企业拥有5G专用频谱,自行投资、建设和发展、运营5G专用网络	适用于对网络控制力要求较高、有足够资金和技术实力的企业,能够实现更高的自主权和灵活性
代建代维(BOT)	需求企业委托专业的网络运营商或服务提供商进行5G公专网的建设和运营	适用于希望将网络建设和运营风险外包给专业服务商的企业,以降低初始投资和运营成本
共建共维(CBCO)	供需双方共同投资和建设5G专用网络	适用于多个企业在相同地区或行业内共同需要5G专网的情况,通过共同投资和共享资源,提高网络的覆盖范围和性能

网络,根据自身需求和价值来定制、优化网络。此模式适用于对网络控制力要求较高、有足够资金和技术实力的企业,能够实现更高的自主权和灵活性。

二是代建代维(BOT):需求企业委托专业的网络运营商或服务提供商进行5G公网的建设和运营。后者负责投资建设、运营维护和网络的可持续发展,根据需要可以在合同期满后将网络的所有权和运营权转移给委托企业。代建代维适用于希望将网络建设和运营风险外包给专业服务商的企业,以降低初始投资和运营成本。

三是共建共维(CBCO):CBCO是指供需双方共同投资和建设5G专用网络,并共享网络资源和基础设施,需求方可以是多个企业,供给方可以包括多个投资商。供需双方通过合作和资源共享,共同承担网络建设和维护的成本,以实现资源的最优利用和协同运营。共建共维适用于多个企业在相同地区或行业内共同需要5G专网的情况,通过共同投资和共享资源,提高网络的覆盖范围和性能。

2.3 5G公网供给侧商业模式

从5G公网供给侧的角度来看,尽管三大运营商对5G公网部署方式命名不同,但彼此间架构相似,主要有3种模式,其各自的技术方案、应用场景和服务模式在表4中进行了总结。

一是广域专网(公网共用):与2C网络完全共享,通过网络切片建立专用链路,形成全国或区域广域覆盖。

二是局域专网(公网专用):通过用户平面功能(UPF)下沉和移动边缘计算(MEC)部署,实现本地流量卸载、边缘数据处理,形成局域开放园区、热点地区的覆盖场景。

三是物理专网(专网专用):在模式二的基础上,核心网、承载网、基站、频率专建专享,形成封闭区域、热点地区的专门覆盖场景。

2.4 5G 2B可持续发展

1) 5G 2B发展面临的挑战

5G 2B发展时间较短、市场规模还不够大,垂直行业需求多样、差异性大、对产品要求多样化,端到端应用集成和

维护成本较高,商业模式尚处于探索阶段,规模化复制和拓展仍然任重道远。5G 2B全生命周期的可持续发展主要面临以下挑战:

一是网络建设:缺少整体建设和应用规划,网络建设和终端成本高,网络定制化要求高,缺乏标准体系支撑。

二是业务运用:对垂直行业业务的可靠承载缺少有效验证,垂直行业对5G网络不可知、不可测,垂直行业用户难以评估5G公网服务质量和业务服务质量。

三是管理维护:不同垂直行业的需求不同,有些期待免维护、少维护,有些期望能够深入介入运维,实时掌握网络运行状态,网络发生故障时能够及时倒换至冗余备用网络,对网络及业务故障的原因要做到“件件分析、定位准确、及时解决”。

四是信息安全:不同垂直行业对安全的级别要求千差万别,有些采用逻辑切片就可以满足要求,有些要求2B和2C网络实现物理隔离。

2) 5G 2B发展存在的困难

从根本上讲,5G 2B的发展需要电信行业和垂直行业协同创新合作。实际上,双方在需求、目标、组织、管理等方面存在较大差异,不同行业经济基础不同,导致供需不匹配,具体体现在以下3个方面:

一是缺乏共识和应用标准:当前,5G公网缺乏应用标准规范,网络和服务定制化水平不足,运营商缺少行业专业知识和经验,核心、无线、承载网络冗余不足,冗余倒换时间长、业务中断长,上行业务带宽不够,网络服务质量和业务服务质量监测、运维响应时间等需求在不同行业千差万别,运营商响应与行业需求不匹配。上述问题制约5G 2B发展和应用。

二是理念和管理模式差异大:数字资产管理模式不同,部分垂直行业需要全生命周期管理和维护,公网的运维平台能力开放程度不够。此外,数字产业和垂直行业“步调不一致”。前者技术进步快、迭代快、换代快,1G到6G,10年一代,软硬件版本更新快;后者需求牵引、价值导向,步步为营,要求全生命周期管理和维护。前者开放,后者

▼表4 5G公网供给侧商业模式

模式	广域专网(公网共用)	局域专网(公网专用)	物理专网(专网专用)
技术方案	与公网完全共享,通过5QI/网络切片建立专用链路	与公网部分共享,通过UPF下沉、MEC部署等实现本地流量卸载、边缘数据处理	在UPF下沉的基础上,基站、频率专建专享,构建专用无线网络、SA核心网
应用场景	广域覆盖场景	局域开放园区、热点地区场景	局域封闭区域、热点地区场景
服务模式	优享模式(中国移动)、虚拟专网(中国联通)、致远模式(中国电信)	专享模式(中国移动)、混合专网(中国联通)、比邻模式(中国电信)	尊享模式(中国移动)、独立专网(中国联通)、如翼模式(中国电信)

5QI:5G QoS特性 MEC:移动边缘计算 SA:独立组网 UPF:用户平面功能

保密。

三是垂直行业的主动性、主导性没有充分释放：针对技术复杂的5G公专网，垂直行业缺少专业人才，积极性不高，没有将需求充分地梳理和总结并提供给电信营商。

3) 5G 2B可发展之道

5G 2B的可持续发展，既不能“千行一面”，也不能“千行千面”，而是要“精准匹配，高质量发展”。5G公专网的本质是输出基于5G网络的数字技术能力，解决垂直行业的痛点问题，为垂直行业提供发展动能，创造价值，重塑生产要素和经济结构。具体有3点发展建议：

一是电信运营商、设备提供商要理解垂直行业数字化转型的顶层设计，深谙垂直行业的发展痛点和价值导向，提供垂直行业真需求的真落地解决方案。

二是垂直行业主导，协同构建基于5G公专网开展垂直行业应用的技术标准体系，网络安全技术体系，以及跨行业的网络、管控、运用、维护一体化平台。

三是协同创新高可靠多模、多功能的公专融合终端技术，跨行业、多域数据联合分析与挖掘技术，网络、应用和安全一体化的融合管控技术。

5G公专网是垂直行业数智化转型的关键基础设施，通过“5G公专网+人工智能+垂直行业应用”的深度融合汇通，让5G公专网深入生产，让垂直行业场景质变升级，加速推进垂直行业数字化转型、智能化升级，助力经济、社会高质量发展。

3 重塑垂直行业5G发展体系

为使5G更好的赋能垂直行业，实现垂直行业数字化转型发展，应将发展的内在逻辑从“以数字技术赋能产业，供给侧对应用场景外向开拓”转变为“从产业角度出发凝练技术特征，需求侧对技术反向定义”，即从2B (To Business) 向4B (For Business) 进行转变，重塑垂直行业5G发展体系。

3.1 数字化转型发展

党的十九大以来，中共中央、国务院，相关部门和各省市频频释放政策信号，特别是党的二十大报告提出了中国式现代化。2019年7月中央政治局会议“加强推进信息网络等新型基础设施建设”，随后国家发展改革委、工信部明确新基建范围，相关部门和各省市出台新基建行动计划，加快5G/6G、人工智能、工业互联网、物联网、数据中心等建设速度。2020年8月国务院国资委印发《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》，相关部门频频释放政策信号，

国企数字化转型持续加速、有序推进。2023年2月27日中共中央、国务院印发了《数字中国建设整体布局规划》，数字中国战略将引领国家实现经济体系现代化、科技创新现代化、国家治理体系与治理能力现代化和人的现代化，探索出一条具有中国特色的中国式数字化发展新道路。2023版国家机构改革，新组建国家数据局，中央部署要协调推进数据基础制度建设，统筹推进数字中国、数字经济、数字社会规划和建设。2022年，中国数字经济规模超过50万亿元，到2032年，将超过100万亿元。数字经济是国家发展的重要新引擎，数据上升为核心要素。

行业的每一项数字化转型活动，都应围绕组织的价值效益来展开。数字化转型在根本上是要推动行业组织价值体系的优化、创新和重构，不断创造新赛道、新模式。通过顶层设计，打造行业的数字化生存和发展四方面能力：一要适应环境的快速变化，深化应用新一代信息技术，建立、提升、重构内外部平台能力；二要赋能业务加速创新转型，构建竞争合作新优势；三要改造提升传统动能形成新动能，形成不断创造新价值、实现新发展的能力；四要基于智能技术的赋能作用，获取多样化发展效率，形成共创、共建、共享开放能力，应对日益个性化、动态化、协同化的需求，构建市场核心竞争力。

5G公专网是垂直行业数字化转型的基石。当前，5G 2B公专网的发展方式由供给侧主导，其本质是“供给外生赋能、实现新增长”。为实现数字化转型升级，应将发展方式转变为由需求侧主导，本质为“供需内生协同、实现转型升级”的5G 4B。

3.2 5G/6G 公专网发展

在政策的引领下驱动垂直行业实施数字化转型发展，行业数字化转型与智能化升级需要通过顶层设计，实施战略驱动，最终构建发展能力。面向垂直行业需求，将发展理念由2B转变为4B，实现主导力量、内在逻辑和本质的全面革新，准确把握5G/6G公专网发展路线，树立全生命周期的可持续发展理念。如图1所示，全生命周期需要包含需求定义、规划设计、实施部署、运维管理和更新迭代五大阶段。各阶段均需要运营商和垂直行业供需双方形成契约，紧密合作与协调，确保网络能够满足垂直行业需求，产业链能够可持续发展。

1) 发展基础

公专网发展的基础是确立好运营商和垂直行业用户之间商业模式。运营商与垂直行业之间的契约服务关系，在对等性、业务复杂性、网络建设模式、服务模式、收益模式等方

面更具有特殊性。设计可复制、可定义的5G/6G公网商业模式需要考虑以下几个关键要素：

一是面向行业需求有针对性地设计商业模式。不同垂直行业具有不同的需求和商业模式，有些垂直行业采用公网共用、定制服务质量(QoS)采购流量包形式，有些垂直行业需要公网专用、部署专用UPF，有些垂直行业需要专网专用、部署专用频段基站和专用UPF，甚至专用核心网，需要针对性地设计商业模式。

二是确定网络部署模式。明确网络部署的出资模式和资产归属(运营商出资、垂直行业出资、运营商与垂直行业按照比例共同出资)，定义网络部署过程中运营商与垂直行业的分工界面。

三是确定收益模式。设计清晰的收益模式，包括收入来源、价格策略和付费方式。不断优化和改进收费模式、成本回收期限和盈利模式，如设备租赁模式、流量收费模式、运维服务收费模式等，以适应不同垂直行业的需求，使垂直行业“用得起、用得好、用得放心、用得省心”，实现双赢。

四是建立长期合作伙伴关系。运营商、设备供应商、解决方案提供商与垂直行业之间建立长期的合作伙伴关系，共同推动公网商业模式实施和发展。通过合作伙伴的资源

和技术能力，增强商业模式的可复制性和可定义性。

2) 发展关键

公网发展的关键是由垂直行业主导，协同运营商，从国家标准、行业标准、团体标准、企业标准等多个层面，构建5G/6G公网垂直行业应用的技术标准体系。标准体系的构建需要遵循“统一高效、保障安全、健全体系、适应发展、强化基础、鼓励创新、统筹设计、突出重点”的原则，为装备技术、工程建设、运营维护等应用领域提供依据，形成谱系化。通过应用标准体系建设，实现以下目标：

一是促进互操作性。通过制定统一的技术标准和协议，不同供货商、设备和应用之间的互联互通，确保业务、功能、性能满足垂直行业需求。

二是提升网络安全性。加强网络安全防护和管理，确保数据传输的安全性和隐私保护，减少网络攻击和数据泄露的风险，提升5G/6G公网的安全性。

三是保证服务质量和用户体验。通过制定标准化的服务质量指标和用户体验指标，可以统一运营商和垂直行业对于高质量服务的认知，增强垂直行业用户对于5G/6G公网的接受度和认可度。

四是降低成本和提高效率。通过制定标准化的技术规范，可以减少自定义开发和集成的工作量，降低数字化建设的时间和成本，激发市场创新和发展，推动5G/6G公网的成熟和普及。

五是促进产业合作和创新。标准化可以提供一个共同的平台和语言，运营商可以深入理解垂直行业需求和发展趋势，参与技术研发和创新应用，推动垂直行业和运营商之间的合作和共享。

3) 发展核心

公网发展的核心是打造好创新链、产业链。理论创新要聚焦行业的数字化转型、价值导向、精品网络的规划；技术与标准创新要聚焦业务需求、业务承载、安全保障，云边端协同智能；关键装备创新要聚焦管控平台、日常运维监测、定制终端；系统集成创新是公网建设的重点，包括工程实施策略、装备与管理体系协同、试验与验收方法、应用集成管控办法等。针对上



▲图1 5G/6G公网全生命周期

述4个方面的创新需求，其具体建设目标及相应技术方案如图2所示。

4) 发展保障

公网发展的保障是做好生态建设。

一要深度理解行业的需求，建立广泛良好的合作伙伴关系。深入了解不同垂直行业或企业的需求和挑战，包括业务流程、数据管理、安全性要求等方面。通过与行业相关的研究和交流，洞察行业的数字化转型和智能化升级的趋势，为生态建设提供指导。建立广泛的合作伙伴关系，包括运营商、设备供应商、解决方案集成商、行业协会等。与各方合作，共同开发适用于垂直行业或企业的5G/6G公网解决方案。通过合作伙伴的资源和技术能力，实现生态系统的丰富和互补。

二要标准和规范引领，在3GPP的源头纳入垂直行业的需求，贯通系统网络的全生命周期建设。参与制定行业标准和规范（例如未来铁路移动通信系统FRMCS），以推动5G/6G公网在企业中的应用。标准化能够提升互操作性和互联互通性，促进不同解决方案和设备的无缝集成和互联。

三要政产学研用协同创新，实现创新链、产业链、供应链的协调、可持续发展。鼓励创新和研发活动，包括技术创新、应用创新和商业模式创新。通过支持创新企业和创业团队，培育新兴技术和解决方案，为垂直行业或企业的数字化转型和智能化升级提供新的驱动力。为垂直行业或企业提供相关的培训和支持，帮助其了解和掌握5G/6G公网的应用和技术。培训内容可以包括网络架构、安全性、数据管理、

智能化应用等方面，以提升用户对公网的认知和能力。通过建立应用示范项目，展示5G/6G公网在垂直行业或企业中的应用案例和效果。通过推广成功案例，向更多的行业和企业展示公网的潜力和价值，推动其采纳和应用。建立监测和反馈机制，持续跟踪垂直行业或企业的需求和反馈。通过收集用户反馈和市场信息，及时调整和优化生态建设的策略和方向，以不断提升公网的适应性和价值。

4 结束语

无线公网是企业或行业数字化转型、智能化升级的基石，是行业融合基础设施的底座。长期以来，中国无线公网发展保持着对无线电频率的旺盛需求，频率的确是产业链起步的重要标志，也是保障千行百业高质量发展的关键要素。5G是2B的起跑线，对于发展5G 2B的初心，国家、行业、企业有不同的视角。然而，当前5G公网发展面临较大挑战和困难，为打破5G公网的发展瓶颈，应将发展模式由2B转变为4B。就未来5G/6G公网发展而言，要树立全生命周期可持续发展理念，明确发展的基础是设计可复制、可定义的公网商业模式；发展的关键是建设由垂直行业主导，与运营商协同，从多个层面出发的公网应用标准体系；发展的核心是打造理论、技术与标准、关键装备及系统集成的创新链和产业链；发展的保障是做好公网生态建设。在构建国家新一代信息基础设施的战略背景下，以行业政策引领为动能，供需协同、双赢倍增为动力，实现电信行业无线公网从2B到4B的发展范式转变，赋能垂直行业数字化转型升级。

理论创新	技术与标准创新	关键装备创新	系统集成创新
<p>1)面向垂直行业数字化业务和需求的新型网络架构 创新组网方案、高可靠保障方案、安全保障体系,突破安全与效率相互制约的瓶颈</p> <p>2)公网系统安全模型与失效影响 构建网络安全风险源辨识方法和风险源场景库,建立单点失效、多点失效的影响模型及对应的处理机制</p> <p>3)基于自主化射线跟踪(RT)技术的公网规划与优化 构建BIM+GTS融合数据库,提出机理模型与数据驱动相融合的5G/6G公网无线网络规划优化方法,增强无线网络效能</p>	<p>1)面向垂直行业数字化业务需求的公网技术标准体系 构建装备技术、工程建设、运输服务等公网技术标准体系</p> <p>2)基于5G/6G公网的业务承载技术 基于能力匹配模型、覆盖模型和射线跟踪仿真技术的规划</p> <p>3)基于5G/6G公网的网络安全保障技术 技术方案和安全评测方法,自主化加密算法、用户隐私保护机制和数据完整性保护机制</p> <p>4)垂直行业5G/6G公网边缘计算与应用技术 “云-管-边-端”协同方案;数据恢复、主备/双活、业务切换及自愈灾备技术</p>	<p>1)5G/6G公网的一体化管控平台 创新网络跨行业“共管共维”模式,研发“网络、终端与应用”二位一体管控平台</p> <p>2)基于5G/6G公网的通信系统 研发基于3GPP MCX国际标准的5G/6G公网通信系统,并成功应用</p> <p>3)面向垂直行业智慧业务的一体化智能综合监测系统 创新性实现网络服务质量和业务运行质量的有效评估和预警</p> <p>4)公网成套专用终端装备 研制谱系化、筒统化多模终端装备,解决垂直行业装备多样等问题</p>	<p>1)提出符合垂直行业数字业务需求的公网实施策略 “搭建实验室测试平台——试验段试验工程——试验线示范工程”三步走策略</p> <p>2)跨垂直行业和电信行业的装备与管理体系协同创新 联结“产、学、研、用”全链条,实现协同创新</p> <p>3)面向垂直行业公网和业务应用的测试试验方法 建立基于通信云高效的测试试验体系</p> <p>4)应用集成创新 支撑垂直行业自动驾驶、可视化无线调度、基础设施监测等应用创新</p>

▲图2 5G/6G公网创新需求及其相应技术方案^[16-18]

致谢

本研究中的调研工作和图表制作工作得到了北京交通大学在读硕士研究生单馨漪、郭梓烨、乔琬淇、徐航和佳讯飞鸿智能科技研究院龙志勇、刘艳兵、柴文字、李莉的帮助。在此向他们表示感谢!

参考文献

- [1] 程锦霞, 邓伟, 翁玮文, 等. 面向6G的天地一体无线网络技术研究[J]. 无线电通信技术, 2023, 49(5): 1-7
- [2] 稚艳. 5G行业专网建设模式探索[J]. 价值工程, 2023, 42(24): 94-98
- [3] 祝咏升, 魏长水, 张骁. 5G公网铁路专用网络架构及安全部署方案[J]. 铁道通信信号, 2023, 59(1): 13-18
- [4] 汪卫国, 于青民. 国际5G专网应用发展态势[J]. 通信世界, 2023, (10): 24-27
- [5] 5G private networks [EB/OL]. [2022-11-18]. <https://5gobservatory.eu/5g-private-networks/>
- [6] 部分欧洲国家5G专网发展动态 [EB/OL]. [2022-11-18]. <https://www.c114.com.cn/wireless/2935/a1215820.html>
- [7] Platform for businesses and manufacturers trials in the 3.8-4.0 GHz band: arcep delivers an initial assessment [EB/OL]. [2022-12-12]. <https://en.arcep.fr/news/press-releases/view/n/5g-121022.html>
- [8] 刘琪, 潘峰, 姜博. 日本区域5G专网发展分析及思考[J]. 信息通信技术与政策, 2022, 2022(6): 75-79
- [9] Establishment of fifth-generation (5G) private network policy plan [EB/OL]. [2020-01-25]. <https://en.arcep.fr/news/press-releases/view/n/5g-121022.html>
- [10] European Electronic Communications Committee. Harmonised use of the paired frequency bands 874.4-880.0 MHz and 919.4-925.0 MHz and of the unpaired frequency band 1900-1910 MHz for Railway Mobile Radio (RMR) [R]. 2020
- [11] 工信部产业政策与法规司. 法管理频谱资源 促进资源合理有效使用 [N]. 中国电子报, 2023-07-04(2)
- [12] 庞明慧, 台鑫, 吕崇玉, 等. 面向5G无人机通信场景的传播路径概率预测模型[J]. 电波科学学报, 2023, 38(1): 54-62
- [13] 艾渤. “面向垂直行业场景的5G及B5G电波传播与无线信道研究”专题前言[J]. 电波科学学报, 2023, 38(1): 1
- [14] AI B, MOLISCH A F, RUPP M, et al. 5G key technologies for smart railways [J] Proceedings of the IEEE, 2020, 108(6): 856-893
- [15] 《数字铁路规划》印发: 到2035年铁路数字化转型全面完成 [EB/OL]. [2023-09-11]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1776734061887064368&wfr=spider&for=pc>
- [16] HE D, GUAN K, YAN D, et al. Physics and AI-based digital twin of multi-spectrum propagation characteristics for communication and sensing in 6G and beyond [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2023, 41(11): 3461-3473
- [17] 钟章队, 官科, 陈为, 等. 铁路新一代移动通信的挑战与思考[J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(4): 44-50. DOI: 10.12142/ZTETJ.202104009
- [18] YAN W, SHU Q, GAO P. Security risk prevention and control deployment for 5G private industrial networks [J] China communications, 2021, 18(9): 167-174

作者简介



钟章队, 北京交通大学教授、博士生导师, 教育部“面向高速铁路控制的无线移动通信系统研究”创新团队带头人, 宽带移动信息通信铁路行业重点实验室主任; 从事无线通信与宽带移动通信、计算机通信与信息技术等研究与教学; 1994年提出基于GSM-R技术建设中国铁路数字移动通信网络, 奠定高速铁路CTCS3级列控系统发展基础; 完成100多项科研项目, 研究成果广泛应用于青藏铁路、大秦重载运输铁路、客运专线、高速铁路等工程建设; 获国家科技进步奖一等奖1项, 省部级科技特等奖1项、一等奖3项、二等奖5项, 中国图书优秀学术著作一等奖1项, 中国高等学校十大科技进展1项, 中国研究生教育成果奖二等奖1项, 中国电子学会优秀博士学位论文指导教师奖; 1998年获铁道部有突出贡献的中青年科技专家称号, 1999年享受国务院政府特殊津贴, 2004年获茅以升科学技术奖(铁道科技奖), 2007年获第八届詹天佑铁道科学技术奖贡献奖, 2010年获得第十届詹天佑铁道科学技术成就奖。



官科, 北京交通大学教授、博士生导师, 先进轨道交通自主运行全国重点实验室攻关团队成员, 宽带信息通信铁路行业重点实验室副主任, 太赫兹通信标准《IEEE 802.15.3d-2017》的信道模型主创者, 《IEEE Vehicular Technology Magazine》《电波科学学报》等期刊的编委; 研究领域为5G、毫米波/太赫兹以及智能轨道交通电波传播与无线信道; 获德国洪堡基金会外国科学家研究基金资助, 并获国际无线电科学联盟(URSI)青年科学家奖、中国铁道学会科学技术奖一等奖、教育部高等学校科学研究优秀成果奖二等奖。



丁建文, 北京交通大学研究员、博士生导师, 宽带移动信息通信铁路行业重点实验室副主任, 国家铁路局铁路科技标准规划专家; 长期从事宽带移动通信、轨道交通专用移动通信等领域研究; 主持和参与国家级、省部级和企业科研项目100余项, 主持和参编铁道行业标准、企标及标准性技术文件40项, 获詹天佑铁道科学技术青年奖1项, 中国铁道学会科学技术奖一等奖4项、二等奖4项, 国家铁路局重大科技成果入库9项, 成果应用于铁路移动通信网络规划、设备研制、测试试验、工程设计、优化与验收; 发表学术论文80余篇, 编写著作9部。



陈姝, 佳讯飞鸿智能科技研究院院长、宽带移动信息通信铁路行业重点实验室副主任; 主要从事轨道交通宽带移动通信、云计算、大数据技术研究; 参与多项铁路标准、行业白皮书编制, 主持了公司铁路通信云、铁路5G专用网关、铁路信号设备PHM系统等多项新产品的孵化工作。