



5G 大上行能力在行业数字化中的价值

2020 年 10 月

CONTENTS

CONTENTS

目录

1. 概述	1
<hr/>	
2. 行业数字化转型势不可挡	2
2.1 数字经济快速发展	2
2.2 5G 成为新基建之首，是数字经济的核心驱动力	3
2.3 大上行能力成为行业数字化刚需	4
<hr/>	
3. 行业数字化典型案例	5
3.1 5G 在智慧港口中的应用及价值	5
3.1.1 港口业务流程及数字化改造需求	6
3.1.2 5G 大上行在港口智慧化中的应用场景和价值	7
3.2 5G 在智慧钢铁中的应用及价值	8
3.2.1 钢铁业务流程及数字化改造需求	9
3.2.2 5G 大上行在钢铁数字化中的应用场景和价值	10
3.3 5G 在智慧矿山中的应用及价值	12
3.3.1 矿山业务流程及数字化改造需求	12
3.3.2 5G 大上行在矿山数字化中的应用场景和价值	13
<hr/>	
4. 5G 创新解决方案助力上行能力提升	15
4.1 专属帧结构解决方案	15
4.2 SUL 上行增强解决方案	16
4.3 上行载波聚合解决方案	17
4.4 组网解决方案	17
<hr/>	
5. 总结及展望	18
<hr/>	
附录: 缩略语	19

01 概述

5G 从定义之初，就致力于构建一个人与人、人与物、物与物等万物互联的智能世界。

ITU 对于 5G 的定义包含三类典型应用场景：eMBB(移动宽带增强)、uRLLC(超高可靠超低时延通信) 和 mMTC(大规模物联网)。3GPP 5G 第一个技术版本 R15 在 2018 年底完成，eMBB 已经正式走向商用；2020 年 7 月初 3GPP 发布 R16 标准，预计 9 月底完成对 uRLLC 技术的全部定义；预计在 2021 年，3GPP 5G 标准会完成对 mMTC 的技术标准定义。在未来十年，5G 技术将不断演进创新，以持续夯实面向行业的能力。

随着 5G 在全球的商用部署和在行业数字化中的探索，5G 正在加速与工业、医疗、交通、教育等各个行业深度融合，

5G 作为联接平台的巨大潜力正在显现。我们也同时发现，在 5G 参与各个企业自动化、智能化发展的过程中，大上行、低时延、高精度定位等能力成为最早一批 5G 应用场景最迫切的需求。而从移动网络自身的特点和发展来看，大上行带宽能力是运营商可以最先实现、最早商用的能力，并且可以解决当前企业存在的大部分自动化、智能化的需求。

本文特别选取港口、钢铁和矿山等国家新基建首批应用示范重点行业，结合中国移动、华为在行业具体场景中的探索，从行业业务流程、企业联接需求出发，分析对于 5G 的需求以及 5G 如何在其中发挥作用并产生价值。同时，本文也会对如何从当前的网络系统，提升上行宽带能力提出建议。



02 行业数字化转型势不可挡

2.1 数字经济快速发展

数据的流动方式从根本上决定了经济的交互方式。当今世界，数字经济已经成为全球最重要的产业，正以澎湃的驱动力成为各国经济复苏新引擎。发展数字经济已成为打造经济发展新高地、应对国际激烈竞争、抢抓战略制高点的重要手段。

各国数字经济成为国民经济重要组成部分。根据世界银行统计的数据显示，数字经济在各个国家中的GDP占比逐年增多。2018年，在测算的47个国家中，英美德数字经济已经在GDP占比已经达到60%以上，韩国、日本等国家数字经济在GDP占比超过40%，新加坡、中国、芬兰等国数字

经济占比也已超过30%，还有25个国家数字经济占比介于15%~30%之间。与同期GDP增速相比，2018年80%的国家数字经济增速显著高于GDP增速。（来源：信通院《全球数字经济版图》）

在中国，数字经济规模不断扩张，在国民经济中地位更加突出。从2014年到2019年的六年时间，我国数字经济对GDP增长始终保持在50%以上的贡献率，成为驱动我国经济增长的核心关键力量。

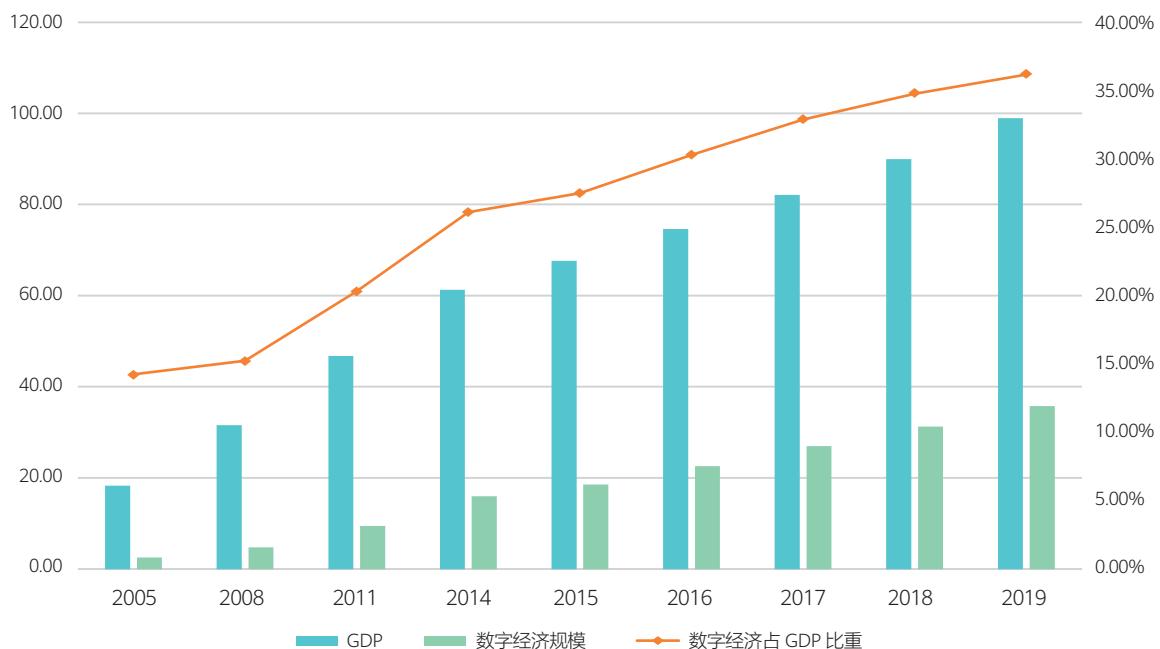


图1：《中国数字经济发展白皮书（2020）》对于数字经济占GDP比重的统计

2.2 5G 成为新基建之首，是数字经济的核心驱动力

2020年，新基建站上风口，成为激活经济新动能的关键举措。根据国家发展和改革委员会的定义，新型基础设施主要包括信息基础设施、融合基础设施和创新基础设施三个方面的内容。其中，信息基础设施包括以5G、物联网、工业互联网、卫星互联网为代表的通信网络基础设施，以人工智能、云计算、区块链等为代表的新技术基础设施，以数据中心、智能计算中心为代表的算力基础设施等。

5G作为新基建之首，在行业数字化进程中，主要参与到各个行业的生产过程中，使生产过程实现“设计即制造、所见即所得、制造即服务”，同时形成商业正循环，达到“数据变机会、机会变服务、服务变收入”，使5G数字化生产模式真正为企业创造新的价值。



图2：国家发改委对于《新基建》的定义



2.3 大上行能力成为行业数字化刚需

通过对钢铁、矿山、港口、制造、教育等行业的数字化探索发现，视频监控、远程控制和机器视觉等是行业的典型应用场景，均存在对大上行能力（包括单点上行速率以及单小区

上行容量）的要求，且随着视频从高清到超清、以及机器视觉对检测精度的不断提升，未来对上行能力的需求也将逐步提升。

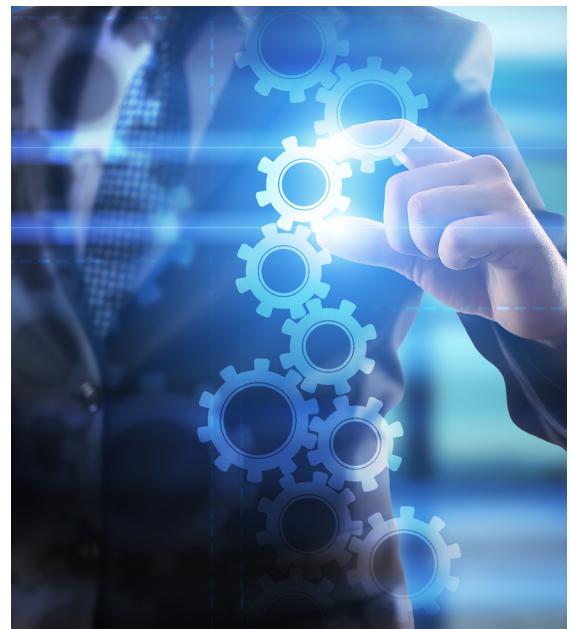


图 3：对上行存在需求的典型行业、业务场景及上行能力要求

在高清监控和远程操控的视频回传中，从视频清晰度上来看，当前业界视频清晰度普遍为 720P~1080P，未来必然向 2K、4K 和 8K 演进，方能提升更高的辨识度并保障安全性，因此单点上行速率也将从 3Mbps 达到 20Mbps，甚至到 60Mbps 以上。另外，视频回传在大部分场景是多点并发，因此对总体小区的上行容量也将呈指数级上升。

在机器视觉场景中，一般高精度检测，对单帧图像时延要求苛刻且不能有图像质量损失，未来对 1 秒内图片识别的图像精度和帧率还会持续提升，因为对上行能力的要求也会逐步攀升。

从当前已经部署的 5G 网络能力来看，单一 TDD 系统一般为 8:2 或者 7:3 的时隙配比，在测试中的峰值可以达到 250~370Mbps，仅可以满足部分场景的上行需求。同时，随着行业数字化的快速推进，行业对大上行的需求将逐渐提高，因此，5G 网络持续需持续提升上行能力，更好的支持行业的数字化转型。



03 行业数字化典型案例

在5G行业数字化的推进过程中，中国移动联合华为及行业伙伴进行了大量的探索，下面主要从在港口、钢铁和煤矿等行业出发，分析5G在企业数字化改造中的需求和价值。

3.1 5G在智慧港口中的应用及价值

港口是水陆交通的集结点和枢纽处，是工农业产品和外贸进出口物资的集散地，全球贸易中约90%由海运业承载，因此港口在国际贸易中起着举足轻重的作用。根据亚太港口服务组织（APSN）发布的《2019亚太港口发展报告》分析，2019年全球港口集装箱吞吐量达到8.0亿TEU标准箱，增速2.3%。

全球共有4300多个港口，中国有200多个港口，然而90%以上为传统港口，全球范围内的全自动化码头有近34个，中国仅4个。传统港口高度依赖人力近端操作集装箱起重机械，且工作环境恶劣、工人劳动强度大、用工成本高。为满足全球海运快速发展的需求，港口信息化、智能化建设被视为提升核心竞争力的重要手段，也是其降低物流成本、提高物流效率的关键所在。



3.1.1 港口业务流程及数字化改造需求

船舶在进港之后，根据货物流向，其全作业流程包括桥吊卸货、集装箱理货、场内水平运输、堆场装卸货等。



图 4：典型港口作业流程

港口作业，效率为王。大型船舶租金一天可高达几十万到数百万，多等待或多作业一小时，即浪费数万元；若装卸时间长，转运效率低，会给货主带来直接的经济效益损失，货主会选择其他码头。因此，对于港口来说，提升货物转运效率是港口的核心业务诉求，货物的转运重点集中在岸桥装卸区

和集装箱堆场区，因此整个港口对于无线的核心诉求集中在桥吊、集卡运输、轮胎吊和轨道吊等作业流程中，主要涉及高清视频监控、远程驾驶、无人驾驶、机器视觉检测等应用场景，而这些应用对于带宽、时延的要求基本上都可以通过5G来满足。

流程	当前业务挑战	连接需求	网络需求
桥吊卸货	<ul style="list-style-type: none"> • 人工现场高空作业，工作环境恶劣； • 部分港口改造光纤支持灵活性差、成本高、难度大。 	<ul style="list-style-type: none"> • 远程 / 无人操控桥吊 	<ul style="list-style-type: none"> • 单个上行带宽速率不低于 30Mbps • 平均时延小于 18ms，最大时延不超过 30ms
集装箱理货	<ul style="list-style-type: none"> • 信息多、录入时间长、劳动强度大； • 4G 带宽传输视频质量差，识别效率低。 	<ul style="list-style-type: none"> • 机器视觉检测 • 高清图像 / 视频传输 	<ul style="list-style-type: none"> • 上行带宽不低于 30Mbps • 传输时延低于 20ms
场内水平运输	<ul style="list-style-type: none"> • 依赖人工驾驶，用工成本高； • 地磁成本高、线路固定、灵活性差、维护量大 	<ul style="list-style-type: none"> • 无人集卡远控 • 车路、车车等协同 	<ul style="list-style-type: none"> • 上行带宽大于 20Mbps • 最大时延不超过 20ms
堆场卸 / 装货	<ul style="list-style-type: none"> • 工作环境恶劣，易患职业病。 • 原有通信换场转场时会中断通信 	<ul style="list-style-type: none"> • 龙门吊远控 • 装卸集装箱远控 	<ul style="list-style-type: none"> • 单个轮胎吊上行大 20Mbps • 平均时延小于 18ms，最大时延不高于 30ms

图 5：港口业务流程当前挑战和对网络连接的需求

3.1.2 5G 大上行在港口智慧化中的应用场景和价值

轮胎吊远控是港口核心生产业务，其改造能实现 90% 自动化，对网络需求高，对港口价值高，下面以 5G 在轮胎吊远控业务中的使用来进行深入介绍。

传统轮胎吊有三大核心痛点：

1. 作业条件艰苦，司机室 30 米高空低头弯腰全人工操作，容易疲劳有安全隐患，易得职业病，45 岁转岗；
2. 人力需求高：每台龙门吊 24 小时作业配备 4 名司机轮换（3 班倒 +1 备份），码头对司机人力需求高；

3. 资源不能共享，码头不是所有轮胎吊同时作业，部分现场司机会闲置。

轮胎吊实现远程控制之后，工作环境由恶劣高空到舒适办公室，由全人工到 90% 自动化，由“一人一吊”转变为“N 人 M (M>N) 吊”，工作效率大幅提升；现场无人作业，极大的降低安全隐患。



图 6：传统轮胎吊与远程轮胎吊作业对比

【5G 网络需求】

5G 港口作业属于室外局域场景，对 5G 上行的典型要求是：

- **5G 龙门吊远控：**

单台龙门吊一般有 18~21 路摄像头，单路视频分辨率 480P~1080P 不等，按照 1080P 计算，每路视频上行速率要求在 2~4Mbps，在同一时刻会选择 8~10 路视频同时上传用于远程操控，因此单个轮胎吊对上行速率的要求平均 20~40Mbps。每堆场有 14 区，业务繁忙时，每区可能会有 2 个龙门吊，因此一个堆场繁忙时总共约 20 台龙门吊同时工作，因此单堆场中对上行容量要求会达到 400~800Mbps。

- **5G 无人集卡物流：**

单个堆场中还将有无人集卡业务，单个无人集卡业务对实时视频回传的要求为 20Mbps 以上，忙时单堆场的无人集卡数量可达 20 辆，所需上行容量将达到 400Mbps。

因此，当前单个堆场中两种业务对 5G 小区整体上行容量的需求将达到 800Mbps~1.2Gbps。由于行业客户对视频的帧可靠性要求较高，未来会考虑预留 3~6 倍的冗余，因此对上行容量需求将会更高。

宁波舟山港是国家的主枢纽港之一，是我国大陆重要的集装箱远洋干线港、国内最大的铁矿石中转基地和原油转运基地。其货物吞吐量连续十一年位居世界第一，2019年达到11.19亿吨，集装箱吞吐量位居全球第三，2019年超2753万标准箱，现有生产泊位620多座。

目前，轮胎吊5G远控在宁波舟山港轮胎吊作业中已经开始常态化投产，实现90%以上的操作由机器完成，司机只需要干预“抓/卸”集装箱两个操作，这样实现了从1人1吊到N人M吊，大幅提升生产作业效率。

以一年吞吐量500万TEU宁波舟山港梅山港区为例，传统港口人力是最大成本，占整个港口成本的30%以上。桥吊

和龙门吊通过5G实现自动化之后，人力成本可以节省上亿元，工作效率可以提升20%，同时也降低了操作风险，减少了停工分享和故障处理的时间。

可以预见，5G在港口的各个作业流程中将发挥巨大作用。一方面，5G天生具有的大带宽、低时延能力可以基本满足当前部分业务的远程操控、高清监控、机器视觉等需求，提升作业效率；另一方面，5G可以一网多用，且简单易维护，可以为港口降低运营成本。未来，随着5G技术低时延可靠及大规模物联网技术的持续演进，5G将为整个港口的性能提升和成本下降提供保障，加快港口的自动化、智能化的转变，为港口发展提供新的空间。

3.2 5G在智慧钢铁中的应用及价值

随着基础自动化建设、信息化建设的发展，中国钢铁行业从弱到强，建立了比较完整的工业体系，实现了规模化、批量化生产。目前，中国钢铁行业已经进入了技术发展的深水区。面对传统制造业转型发展、柔性制造和智能制造的需求，钢铁行业须重新思考生产设备的管理方式，如何从中获取最大的价值。与此同时，钢铁企业需要提升数字化制造能力以应对挑战。

以5G为代表的新一代信息技术不断推动钢铁企业智能化进程加快，在生产、经营等领域应用不断深化，并向工艺过程智能化、产线管控智能化、生产经营智能化方向发展。推动生产作业环节及时精准地获取数据、传递信息，建模

和分析数据、科学决策、实施管控。

华菱湘钢是中国南方千万吨级的精品钢材生产基地，具备年产钢1200万吨生产规模，拥有钢铁全流程的先进技术装备和生产工艺，但在效率提升和降低能耗方面都遇到了瓶颈，同时钢铁厂的高温高危环境也让年轻人不愿意进入钢铁厂工作。为进一步提升生产力、降低能耗、改善工作环境，并提高员工的工作幸福感和获得感，华菱湘钢下定决心要充分利用5G、AI、大数据、云计算等ICT技术进行全流程、全业务的数字化升级，打造钢铁行业的智能工业互联网平台。一方面推动华菱湘钢的高质量发展，另一方面也推动钢铁行业向智慧钢铁、绿色钢铁方向发展。



3.2.1 钢铁业务流程及数字化改造需求

全国领先的钢铁企业的主要生产线基本实现了自动化，但如果要进一步推进智慧钢厂的建设，受制于生产厂区范围大、生产环境苛刻、电磁屏蔽严重，当前 WiFi 信号传输丢包严重，无法满足目前对网络带宽和实时性的要求，导致很多作业还是需要人工进行操作，推进智慧钢厂的 5G 智能制造建设已迫在眉睫。

网络连接是工厂数字化的前提，连接由有线为主向无线为主过渡，由多种接入方式整合为以 5G+ 光纤共存的模式为主，共同打造低时延、高可靠的基础网络。连接是实现全要素各环节深度互联的前提。工厂连接六要素：生产环境、物料、物流车辆、生产设备、制造执行控制系统、人。



图 7：钢铁企业产线流程及生产要素

生产环境	包括温度、湿度、灰尘、有害气体、循环风速、光照等环节要素，通过传感器进行实时监测采集。
物料供应	用于生产制造的物料、储存物料的库房货架等。
物流车辆	运送物料的车辆（如吊车、AGV、货车）。
生产设备	生产设备如高炉、轧机、机械臂、机床、天车等，以及其他设备如工具、仪器、监控、消防等，可通过物联网卡进行网联，或通过 PLC 进行远程控制。（PLC 介于制造执行管控系统中的 MES 制造执行系统与生产设备之间。MES 系统调度控制几个产线 PLC；产线 PLC 是一条生产线的总自动控制模块，同时控制几个站点 PLC；一个站点 PLC 控制一个作业单元的设备，直接与生产设备的阀门、I/O 模块、传送带、机器人对接。）
制造执行管控系统	一个车间内的顶层执行管控系统，在传统车间主要由 MES 系统构成，用于车间的制造数据管理、计划排程管理、生产调度管理、库存管理、工具工装管理等。MES 系统一般会集成 SCADA（数据采集与监视控制系统）等传统制造执行层面信息系统。而随着物联网发展，一些诸如环境检测管理、AGV（自动引导车）调度控制、生产设备预防性维护等新管控系统补充了 MES 系统，与 MES 系统共同构成更加智能化的制造执行管控系统。

而随着物联网发展，一些诸如环境检测管理、AGV（自动引导车）调度控制、生产设备预防性维护等新管控系统补充了 MES 系统，与 MES 系统共同构成更加智能化的制造执行管控系统。

3.2.2 5G 大上行在钢铁数字化中的应用场景和价值

由于钢铁生产过程，工艺流程繁杂，基于客户调研和 5G 技术特点和性能评估，选取如下几个典型场景进行初期阶段智慧化改造。

5G+ 智慧天车

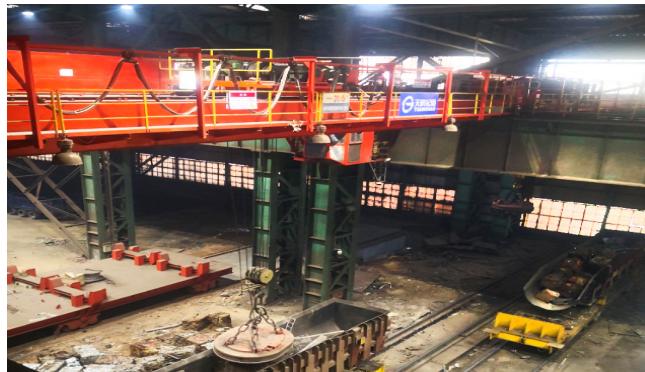


图 8: 钢铁企业 5G 智慧天车操控现场

天车集装卸、搬运、运输功能于一身，是钢铁生产最主要的设备之一，也是决定钢厂高效运转的关键因素。天车经常运行在厂房内的高空，过去需靠人工在天车操作室里操作，不但效率低，且工作环境恶劣、危险。为了提高效率，消除作业风险，发展无人化天车系统已是必然趋势。

在无人天车远程操控中，通过天车上安装的 3D 扫描仪、测距仪、编解码器和多个高清摄像头，结合激光 3D 轮廓扫描

技术，获取周边物料、车辆、车斗高度及装卸位置信息画面，通过超大带宽超高速率超低时延的 5G 网络实时将数据传输至服务器端，进行数据处理并建立三维模型，计算出动作指令集，下发给天车执行，实现天车无人化自动装载运输。5G 天车远程操控可解决工业 WIFI 覆盖及容量不足、抗干扰能力差、光纤铺设困难、成本高、维护复杂等问题，同时极大改善了职工的工作环境，显著提高人工劳效。

5G+AI 机器视觉

随着工艺发展以及人对质量诉求越来越高，钢材表面质量检测已经成为必备工作。例如汽车面板的表面缺陷不能大于 2 处，家电钢板更要求表面“0”缺陷。

现阶段工业品的质量检测基于传统人工检测手段，稍微先进一点的检测方法是将待检测产品与预定缺陷类型库进行比较，上述方法的检测精度和检测效率均无法满足现阶段高质量生产的要求，缺乏一定的学习能力和检测弹性，导致检测精度和效率较低。而且由于计算能力较弱，4G 的时延过高、带宽较低，数据无法系统联动，处理都在线下进行，耗费极大的人力成本。

基于 5G 的大带宽低时延，通过 5G+AI+ 机器视觉能够观测微米级的目标；获得的信息量是全面且可追溯的，相关信息可以方便的集量、需要更快的传输速度，5G 能够完全解决视觉检测的传输问题，为制造长上眼睛。



【 5G 网络需求 】

钢铁企业天车远控和机器视觉属于典型的工厂室内场景，对于网络的需求是：

1. 5G 智慧天车

5G 智慧天车对上行带宽的要求是远程操控视频回传。

在远程操控视频回传中，每个天车上共有 5 个摄像头（1080P）和 1 个全景摄像头（4K），视频上行要求分别是 2~4Mbps/ 路和 8~16Mbps/ 路，每台天车的带宽要求在 18~36Mbps，单个区域 5 台天车的总带宽要求为 90~180Mbps。由于天车的远程操作对视频质量和流畅度要求较高，考虑到 1 帧峰值和撞帧的概率因素，一般会留出 3~6 倍左右的冗余，此时每台天车的带宽要求在 54~216Mbps，单个区域 5 台天车的总带宽要求为 270~1080Mbps；

后续，如果在远控基础上进行无人天车操控，需要增加激光测距和 3D 扫描仪，上行带宽增加 10Mbps，PLC 控制时延要求达到 20ms 以内。

因此，在不考虑预留冗余的情况下，单个区域对 5G

上行总容量需求为 140~230Mbps；考虑预留冗余，则单个区域对 5G 上行总容量需求为 320~1130Mbps。

2. 5G+AI 机器视觉质检

质检对于上行带宽的要求主要从像素（期望检测的精度，一般工业相机 500W、1000W 及 2000W 像素不等）、图像格式（显示内容的丰富性一般有 1 位、8 位、16 位、24 位、32 位等）、帧率（应用要求，即在确定时间周期范围内可以允许多长的图像采集时间），因此质检对于带宽的要求不是一个固定值，而是取决于具体的应用要求。以 3D 结构光 SPI 视觉检测为例，在 500ms 内需要 8 张 500W 像素 8Bit 灰阶图像，单张图像处理时延 62.5ms，因此单张图像大小是 5MB，8 张为 40MB，500ms 的传输频率，对于每个检测节点上行速率要求是 640Mbps。

5G+ 智慧天车提高了天车运行效率、降低故障率、降低能源消耗，又可减轻工人的劳动强度，提升安全性；在人力成本节约上，传统天车一台需要 3~4 名工人轮班倒，天车无人化一台仅需 0.5 人。

5G+AI 钢材表面检测，对比传统人工检测，抽检率最高 45%，机器视觉不仅实现了实时检测，抽检率提升到 91%；另外，机器的检测精度可达到 u 级，人眼无法检测可使用机器完成。



3.3 5G 在智慧矿山中的应用及价值

煤炭是基础能源和重要基础产业，煤矿开发是从机械化到自动化、数字化、智能化等逐步发展的过程。就中国而言，截止 2018 年，全国采煤机械化程度达到 78.5%。自动化技术（滚筒式采煤机等设备）也在煤矿企业得到了广泛的应用。目前，煤炭智能化开采还处于示范阶段，适用于条件较好的工作面，随着技术水平的提升，未来 10-20 年内或将大范围应用。中国大概有 5300 座煤矿。现阶段，采煤作业面

需要工人现场操控采煤机，需要大量人员对采煤现场感设备现场检查等，且工作环境恶劣、工人劳动强度大、用工成本高，且一旦出现事故，均为省市级以上重大事故。智慧矿山可以应用到非煤矿山（金属矿工等），同时由于井下环境极其恶劣，有防爆等要求，其适用油气、石化行业等环境恶劣的生产领域。在非煤矿山方面，全国还有 3 万多座，智能化发展具有较大需求。

3.3.1 矿山业务流程及数字化改造需求

煤矿开采分为井上开采以及井下开采，主要分为两个工作面，在综采面进行采煤工作，并将采完的煤矿从巷道运输到井上。

矿山智慧化主要包括智能控制、全面感知以及实时互联三大类场景。智能控制场景主要实现远程的精准控制，后续基于机器视觉的自行判断下发。全面感知基于状态、视频、定位感知，主要负责上传不同形式的数据，用于监控。实时互联主要用于随时随地的通信以及简单的远程诊断。



图 9：典型煤矿数字化改造示意

场景大类	场景子类	场景子类描述	RTT(ms)	设备连接数(个)/典型小区	上行能力		
					单用户上行峰值速率	小区平均容量	单用户边缘速率
智能控制	精准远程控制	采煤工作面掘进机、采煤机远程集中控制	<100	50	上行需求不大		
	机器视觉	采集高清视频回传，完成远程控制。后续 AI 自己下发判断。	<100	30-40 个摄像头, 4K 清晰度 (范围: 240 米综采面)	20Mbps	0.8Gbps	10Mbps
全面感知	状态感知	人、机、环监测: 人体健康状态, 环境(气体、压力等), 设备状态监测	<1000	>100	上行需求不大		
	视频感知	运输转载点、运输场视频。不用于远程控制，仅用于问题故障反查。	<100	若干固定摄像头 + 移动摄像头 (范围: @ 200 米巷道)	10Mbps	0.3Gbps	5Mbps
	定位感知	人的定位、车辆定位、设备定位等	<100	米级定位	上行需求不大		
实时互联	及时通讯以及远程诊断	工人手持无线终端，满足移动通信，满足在不同地点快速诊断	<100	语音: 10 组 视频: 3-5 组	10Mbps	0.2Gbps	5Mbps

煤矿的生产作业环境以及智能化改造要求，对网络通信在时延、稳定性、安全性、多并发性、定位等方面提供更苛刻的要求。

3.3.2 5G 大上行在矿山数字化中的应用场景和价值

矿山少人化的实现依托于远程精准控制、以及无人控制。智慧矿山对 5G 需求存在如下方面：

1

大上行

在综采面需满足 30-40 个 4K 摄像头回传。

2

大连接

一个智慧矿山预测需要 5 万个以上的传感器，如果全部通过有线连接，地下网络将成为一张蜘蛛网状，不符合实际安装条件。

3

确定性低时延能力

高清实时视频回传属于典型上行大带宽 + 时延敏感业务，以典型 25Fps 视频为例，帧周期为 40ms，高实时性视频要求传输时延低于帧周期。

4

高可靠性网络

煤炭行业作为特种行业，对网络具有严苛的可靠性要求，需要电信级的设备可靠性支撑。

5

一网两用

矿下场景间距 toB 应用及 toC 人员保障通信，采用 5G 一网两用方案规避双层网重复建设的叠加成本和浪费。

6

高安全性

煤矿的安全生产隶属于国家能源战略安全范畴，5G 提供更高的网络安全等级。

【 5G 网络需求 】

煤矿属于对安全要求极高的全封闭场景，其对于 5G 网络需求是：

5G 远程精准控制的先决条件是看得清、看的全，因此，高清视频回传是至关重要的应用。以一个 240 米综采面为例子，平均 6 米安装一个固定摄像头在支架上，需要 40 个摄像头。考虑到需要直接应用在井下环境看清楚，并未采用于机器视觉，需采用 4K 摄像头。每路视频上行速率要求在 8~16Mbps，整个在 240 米范围内对上行容量的要求是 320~640Mbps。

2020 年 6 月，中国移动与阳煤集团、华为公司联手打造的全国首座 5G 智慧煤矿宣布正式落成，阳煤集团新元煤矿依托目前国内地下最低的 5G 网—井下 534 米“超千兆上行”煤矿 5G 专用网，实现了煤矿智慧化管理，解决了煤炭行业的诸多痛点问题。

5G 通过超千兆上行解决方案对多个摄像头并发的视频上传要求，以及在时延方面的保障尤其重要。

中国移动携手华为开发全链条井下专用通信设备，取得全国首家 5G 网络设备隔爆认证，在阳煤集团新元煤矿井下 534 米建成 5G 专用网络，推出机电硐室无人巡检、掘进面无人操作、综采面无人操作三项 5G 应用，帮助煤矿实现了矿井无人化、自动化、可视化运行。



图 10：山西阳煤 5G 改造产生的价值及全国煤矿产业空间

现场少人化、无人化作业，极大的降低安全隐患。传统井下巡检，需要大量的人员对采煤设备现场检查，有了 5G 网络，我们就可以通过高清摄像头，在监控中心进行远程巡检，

单巷道的工作人员从传统的 140 人减少到了 60 人。从总体目标，一个矿井未来要减少到 100 人，初步预估，一个矿井可以节省 7 亿元的人力支出。



04 5G 创新解决方案助力上行能力提升

针对 5G 上行能力的提升，当前主流的方向，一方面是通过在当前上行通道的基础上聚合更多频谱、更大带宽，来提升上行能力，主要技术包括 SUL 上行增强、上行载波聚合等；另一方面通过调整 TDD 频段的上下行时隙配比，增加上行

时隙资源，来提升上行能力。同时，还可以考虑从多频段组网、小区分裂以及未来毫米波组网等方式来进行上行能力提升。

4.1 专属帧结构解决方案

在提升上行能力方面，还有一种最简单直接的办法就是改变当前 TDD 系统中的时隙配比，通过增加上行资源提升上行能力。5G TDD 系统中，其主流时隙配比包括 7:3, 8:2 和 1:3 等，对下行资源的分配远远高于上行，下行能力也远远高于上行能力。因此，我们可以通过引入特殊的时隙配比如下。

下行与上行配比为 DSUUU (1D3U) 的方式，来增加上行资源的调度，提升上行容量。

在外场测试中，将原来 TDD 系统的时隙配比进行调整后，上行速率会成比例的提升，但同时下行速率也会因为可用资源的减少而下降。

子帧配比	5ms 周期 8D2U	2.5ms 双周期 7D3U	2.5ms 周期 1D3U
上行峰值速率	250Mbps	375Mbps	747Mbps
小区平均容量	250Mbps	242Mbps	482Mbps
上行边缘速率	14.4 Mbps	2.8 Mbps	5.6 Mbps

目前网络、芯片等多个厂家已支持 1D3U 的帧结构配置，已在宁波舟山港进行了试点，上行峰值速率可达到 747Mbps。预计明年初具备端到端商用能力，最快满足行业大上行需求。

综上所述，5G 特殊时隙配比是单一频段就可以进行上行增强的解决方案，可提升单用户上行能力和上行覆盖，同时还可提升小区平均容量。由于 3U1D 帧结构与公网帧结构可能不同，因此可能会带来交叉时隙干扰，因此 3U1D 适用于行业对上行速率和容量有要求的完全封闭场景（如矿井）和室内场景（如工厂）等有一定隔离度的场景中。



4.2 SUL 上行增强解决方案

5G SUL 上行增强解决方案，就是通过两段频谱的协同、高频和低频的互补、以及时域和频域的聚合，充分发挥高频的大带宽能力和低频穿透能力强的特点，在近中点提升上行带宽，在远点提升上行覆盖，同时缩短网络时延。

以高频为 TDD 频点，低频为 FDD 频点为例，在近中点，在 TDD 的覆盖范围内，当 TDD 频段传送上传数据时，FDD 上行不传送数据，以充分发挥 TDD 大带宽和终端双通道发射的优势，来提升上行吞吐率；当 TDD 频段传送下行数据时，FDD 传送上传数据，从而实现了 FDD 和 TDD 时隙级的转换，保证全时隙均有上行数据传送。在远点，TDD 频段上行覆盖受限，终端离开 TDD 频段上行覆盖范围时，该方案使用 FDD 低频段来进行上行资源发送，以此来补齐 TDD 上行覆盖短板，从而扩大覆盖范围。

在实际的外场测试中，TDD 100MHz 频谱与 FDD 20MHz 频谱，通过 5G SUL 上行增强解决方案相互协同，可以使近中点上行峰值速率达到 321Mbps，远点通过上行补充延伸原来的 TDD 下行覆盖 6dB，下行远点 TCP 速率提升 100~200%。

在宁波港的 5G 龙门远程操控测试中，5G 通过 SUL 上行增强解决方案来解决多个摄像头并发的视频上传要求，并对端到端的时延进行保障。在宁波舟山港部署的 5G 网路中，采用了 TDD+FDD 的 SUL 上行解决方案，使上行能力达到 310Mbps，满足 10 台轮胎吊同时作业。同时，5G 网络在耐久性测试中的平均时延也达到了 9ms，完全能满足当前轮胎远控对时延的需求。

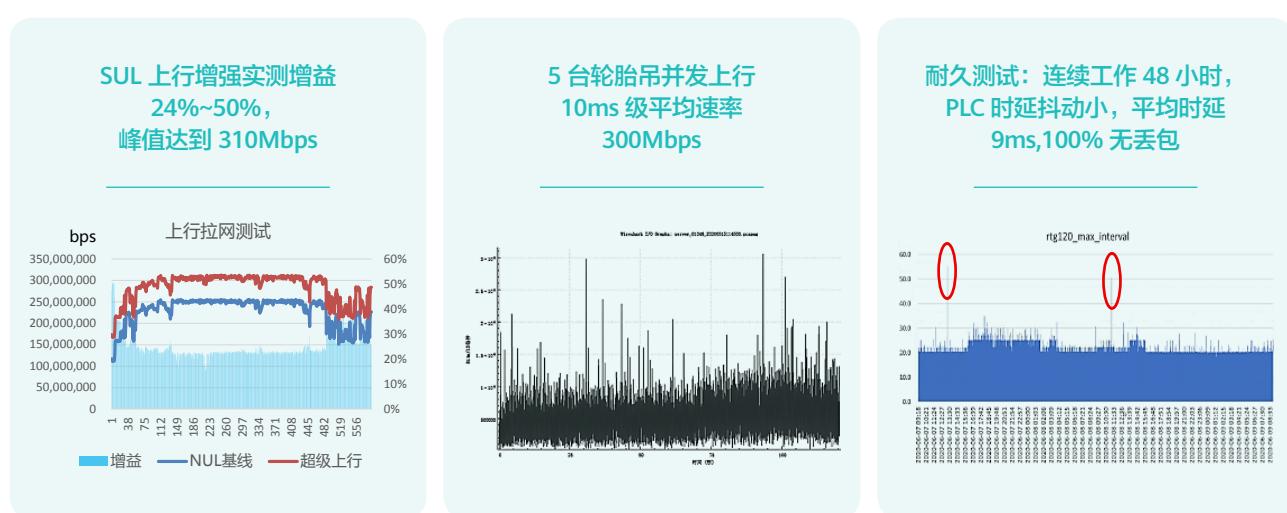


图 11：宁波舟山港口上行带宽和网络时延测试

同时，为了解决行业中对超大带宽的需求，SUL 上行增强解决方案还可以引入专属的上行大带宽频谱（50~100MHz），与 TDD 频段协同，共同提升上行吞吐率。在实验室测试中，TDD 100MHz 和专属上行 100MHz 频谱聚合，上行峰值可以达到 1Gbps 以上，可以进一步满足大部分行业客户的需求。

值得一提的是，该方案在上行和下行的频谱聚合是解耦的，意思就是上行和下行聚合的频段不必相同，因此上行可以在原有 TDD 协同的基础上选择 FDD 频段或者 SUL 专属频段进行协同提升上行能力，而下行也可以灵活与其他更大带宽的 FDD 或者 TDD 频段聚合而提升下行能力。

5G SUL 上行增强解决方案在 R15 标准中立项，在 R16 中增加了更多频段和更大带宽的定义。目前，部分厂商初步支持该方案，但仍需更多产业力量投入，促进产业成熟。

综上所述，SUL 上行增强解决方案可提升单用户的上行能力和上行覆盖，TDD+FDD 的 SUL 适用于对上行带宽、上行覆盖均有一定要求的行业广域、局域场景；采用 TDD+SUL 专属上行大带宽的 SUL 上行增强解决方案，适用于对上行要求最高可达 1Gbps 以上的场景。

4.3 上行载波聚合解决方案

速率与用户可获得的频谱资源息息相关。为了达到提升容量和速率的目的，增加频谱是最直接的方法。但一个载波的频谱资源大小受到频谱分配结果的影响，还受到标准协议的约束。为了获得更多的频谱，可以通过载波聚合(Carrier Aggregation, CA)技术将多个分量载波(Component Carrier)聚合，使UE可享受的频谱达到多个载波的频谱之和，因此速率也能获得相应的提升。上行载波聚合便是利用这一原理，通过聚合不同载波的上行频段，实现上行能力的提升。

当采用 TDD+FDD 频段进行上行载波聚合时，近中点的上行两个载波可以同时进行数据传输，上行峰值速率最大可以达到两个独立的载波峰值速率之和。在远点，由于 TDD 频段的上行覆盖受限，TDD 的上行载波无法再参与载波聚合，此时上行仍可以使用 FDD 低频段来进行上行资源发送，最大程度保障上行的覆盖。

经理论计算，以 2.6G 160M 上行载波聚合为例，上行峰值速率可达到 400Mbps，2.6G+4.9G 载波聚合上行峰值速率可达到 500Mbps，后续还可以聚合其他频段或聚合更多的

频段，进一步提升上行能力。

但是上行载波聚合的一个最大特点就是需要绑定对应的下行载波，也就是说，如果一个载波的上行资源参与了上行载波聚合，它的下行资源就必须参与下行载波聚合。所以在实际网络部署中，需要结合载波的下行资源的用途规划综合考虑。

上行载波聚合在 R15 的标准已经支持，并在 R16 中进行了增强和完善，预计明年网络、芯片、手机终端、工业模组、工业终端等将具备端到端商用能力。目前 2.6G 1D3U 160M 载波聚合已在山西矿井中验证，上行载波聚合后的实测峰值速率可达到 1100Mbps。

综上所述，上行载波聚合解决方案可以提升单用户的上行能力和上行覆盖。但该方案对下行频谱的使用有一定的限制，需要结合下行资源的用途来综合考虑。从行业应用场景上来看，该解决方案主要适用于对上行带宽和上行覆盖有要求的行业广域和局域场景。

4.4 组网解决方案



随着越来越多的 FDD 频段包括 900MHz/1800M 等以及 TDD 频段包括 2.6G/4.9G 等成为 5G 商用主流频段，用低频承载覆盖要求、多个高频承载容量要求的组网方式渐成趋势，以此可以进行优势互补，协同提升上行能力，包括上行容量和上行覆盖。同时，在 Massive MIMO 场景下，可以通过上行的软分裂和小区间的联合接收，大幅提升上行容量和覆盖。随着未来大带宽毫米波的逐步部署和商用，毫米波也可以充分发挥自身的大带宽优势，用于上行速率和上行容量的提升。

因此，通过组网方案与专属帧结构、SUL、上行 CA 等上行增强关键技术的灵活组合，可为室外广域、室外局域、室内、全封闭等场景的不同客户提供专属定制化解决方案和网络服务，满足不同行业客户的差异化大上行需求。

05 总结及展望

随着数字经济的快速发展和在国民经济中的地位日益凸显，行业数字化的推进也在加速。通过对港口、钢铁和智慧矿山的典型业务场景分析可以看出，当前 5G 的大上行带宽能力可以满足大部分企业存在的对于高清监控、远程操控、机器视觉等典型应用场景的需求，快速推进企业的自动化、信息化和数字化平台的构建，为企业减少成本、提升效率。因此，5G 的大带宽能力不仅是 5G 网络的核心能力，也是企业的迫切需求，将在 5G 行业数字化进程中快速商用。

面向当前的行业需求以及未来需求的持续增长，运营商需要提前在网络规划方面进行准备，以储备上行能力。根据行业在广域、局域范围，以及封闭或者开放的场景需求，以及对上行容量以及上行覆盖的不同要求，可以通过 5G 专属帧结构、SUL 上行增强和上行载波聚合等关键技术，同时辅以多频组网、小区分裂和毫米波组网等方式配合，共同提升上行能力。同时，大上行能力的持续推进还需要标准化组织、设备商和终端厂商等的共同投入，标准上要加快对大上行技术的定义和完善，设备商要基于以上的技术方向尽快推出相关网络设备，终端厂商也要加快推出相应的芯片、模组等，以快速适配不同行业场景需求，降低各行各业实现自动化需

求的端到端成本，共同做大移动连接的行业市场规模。

未来的十年是 5G 的十年，5G 行业数字化的潜力无限，5G 对于行业应用的探索也还处于初级阶段。然而，行业连接从有线到无线是必然趋势，5G 通过自身大带宽、低时延、广连接的优势，将过去 20 年里行业市场中碎片化的无线连接技术进行归一化、产业化、规模化也是必然趋势。

因此，面向未来，行业数字化的参与方需要共同努力，在 5G 构建的宽管道之上，结合云和 AI 等技术，为行业数字化注入新的动能。运营商作为联接领域的专家，将通过构建统一的网络基础实施奠定联接的基础，并进行网络的专业化维护，实现规模效应，降低产业成本。设备制造商将持续创新，将 5G 技术标准的定义、发展和演进与行业的需求解决起来，构建更加全面的网络能力以满足各个行业的需求。对于行业客户来讲，需要积极拥抱变化，通过生产业务流程、管理的规范的变革加速 5G 等技术的参与，让其真正发挥作用。对于管制机构来说，全球协同的频谱政策、行业法规的制定、网络建设和产业发展的扶持等一系列政策的出台，都更有利于形成规模效应，推动技术的加速商用。



附录：缩略语

TEU:	Twenty-feet Equivalent Unit	(国际标准集装箱长度单位)
SUL:	Supplementary Uplink	(补充上行)
eMBB:	Enhanced Mobile Broadband	(移动宽带增强)
URLLC:	Ultra-Reliable and Low Latency	(极可靠低时延)
mMTC:	Massive Machine Type Communication	(大规模物联网)
GDP:	Gross Domestic Product	(国内生产总值)
TDD:	Time Division Duplex	(时分双工)
FDD:	Frequency Division Duplex	(频分双工)



