

CONNECTIVITY

5G和5G演进：工业控制应用场景白皮书

施耐德电气与华为联合出品

se.com/cn



Schneider
Electric™
施耐德电气

目录

CONTENTS

1 工业控制领域关键技术趋势	4
柔性生产	5
扁平化架构	6
少人化无人化控制	7
开放自动化	7
2 5G和5G演进	8
3 离散制造行业的柔性生产	10
多品种小批量离散制造工厂的5G柔性产线	11
4 起重运输的少人化无人化控制	14
钢厂5G无人行车应用	15
5G塔式起重机远程控制	18
基于5G的立体仓储应用	20
5 运动控制场景的无线化	23
基于5G的运动伺服控制系统	24
6 OT和IT网络融合	26
基于5G的发动机生产线MES数据采集系统	27
基于5G食用菌工厂化种植	29
基于5G单晶硅拉晶车间集中监控	31
7 广域工业控制系统的无线物联	33
基于5G的水利行业应用	34
基于5G的无人值守配电站应用	38

前言

截至2021年4月，全球已经部署超过160个5G网络，全球5G终端连接数接近3亿，5G行业数字化项目达到5000多个¹。中国的5G发展尤其令人瞩目，2020年中国累计建成5G基站将近72万座，实现了重点区域的连续覆盖，5G终端连接规模全球占比超过了85%²。全球5G核心专利，有34%被中国企业掌握，位列全球首位³。根据2021年全国工业和信息化工作会议信息，2021年中国将新建60万以上的5G基站，以继续巩固全球领先的优势，涉及的产业规模增幅或将超过2020年。

5G给工业制造领域的基础网络升级带来了巨大的机遇，但同时5G赋能行业应用依然面临巨大的挑战。一方面，面向千行百业不同类型的应用场景，5G在上行能力、低时延、确定性和精准定位等方面依然存在不足，为此，5G兑现现有能力的同时，也需要持续演进。2021年4月27日3GPP正式定义了5G-Advanced（5G演进），5G-Advanced将为5G定义新的目标和能力，通过5G全面演进和增强，使能5G在更多行业应用领域的价值。另一方面，随着5G行业数字化项目的全面开展和持续深入，需要发掘更多具有推广价值且适合5G的应用场景，充分发挥5G作为ICT基础网络和信息化高速公路的价值和优势。

秉持着“推动新技术在工业领域的应用，以此来推动企业的数字化转型”的公司战略核心，施耐德电气凭借自身在工业领域的丰富经验，基于自身业务发展方向，通过场景分析甄选出10个5G在工业控制领域的应用场景，涵盖了工业智能制造、起重制造、市政水务、仓储物流等诸多领域。基于工业控制领域的趋势方向，将这十个场景分为五大类：离散制造行业的柔性生产、起重运输的少人化无人化控制、运动控制场景的无线化、OT和IT网络融合以及广域工业控制系统的无线物联，并针对每个应用场景的行业趋势，典型应用场景，技术要求及挑战，以及应用5G的驱动力四个方面给出了解读。

2020年是不平凡的一年，新冠疫情席卷全球的同时也加速了企业数字化发展的节奏，5G赋能实体、造福社会、服务人民的重要作用不减反增，并日益成为支撑经济高质量发展的重要驱动力量。施耐德电气希望发挥自身工业领域的优势，进一步拓展5G、自动化及智能制造与工业应用场景的结合，让更多的企业分享5G带来的数字化红利，推动企业的高质量发展。

¹3GPP第46次PCG会议，北京，2021.04

²上海世界移动通信大会，上海，2021.02

³5G专利竞赛的领跑者》IPLytics专利报告，2021.01

01

工业控制领域 关键技术趋势



1. 柔性生产

上世纪10年代,人类开创了流水线刚性生产的工厂生产新模式,降低了单位产品的生产成本,使得一些昂贵的消费品向大众普及。然而,随着人口基数不断上涨以及中产阶层不断扩大,产品的个性化正成为消费的主流,作为以快速和多样化为特点的柔性生产在制造业中扮演的角色愈来愈重要。

柔性生产满足定制化产品需要,5G使能更可靠的无线OT网络。

相比较刚性生产,柔性生产能够快速切换生产线,有着灵活满足客户定制化要求、极大缩短生产周期等优点。柔性生产有着不同的实现方式和粒度,例如柔性制造单元可在同一条产线适配多种产品生产,柔性产线可基于不同订单进行产线快速调整。基于柔性生产,工位的全无线化将带来更大的便利性,包括电和气的快速插拔模式以及通信的无线化。在核心生产环境的OT网络引入无线化后,5G网络对比Wi-Fi的可靠性、低时延和大联接优势将得以体现,使得无线化的优势能够在规模商用的场景中兑现价值,更好的促进柔性生产发展,增强企业市场竞争。

2. 扁平化架构

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，这种架构下会导致上层的IT网络难以触及现场层的生产系统，大量生产数据沉淀、消失在工业控制层，不能被进一步利用，此外也导致生产线之间无法进行深度协同。因此使能IT网络与OT网络之间的全域数据流通成为了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。

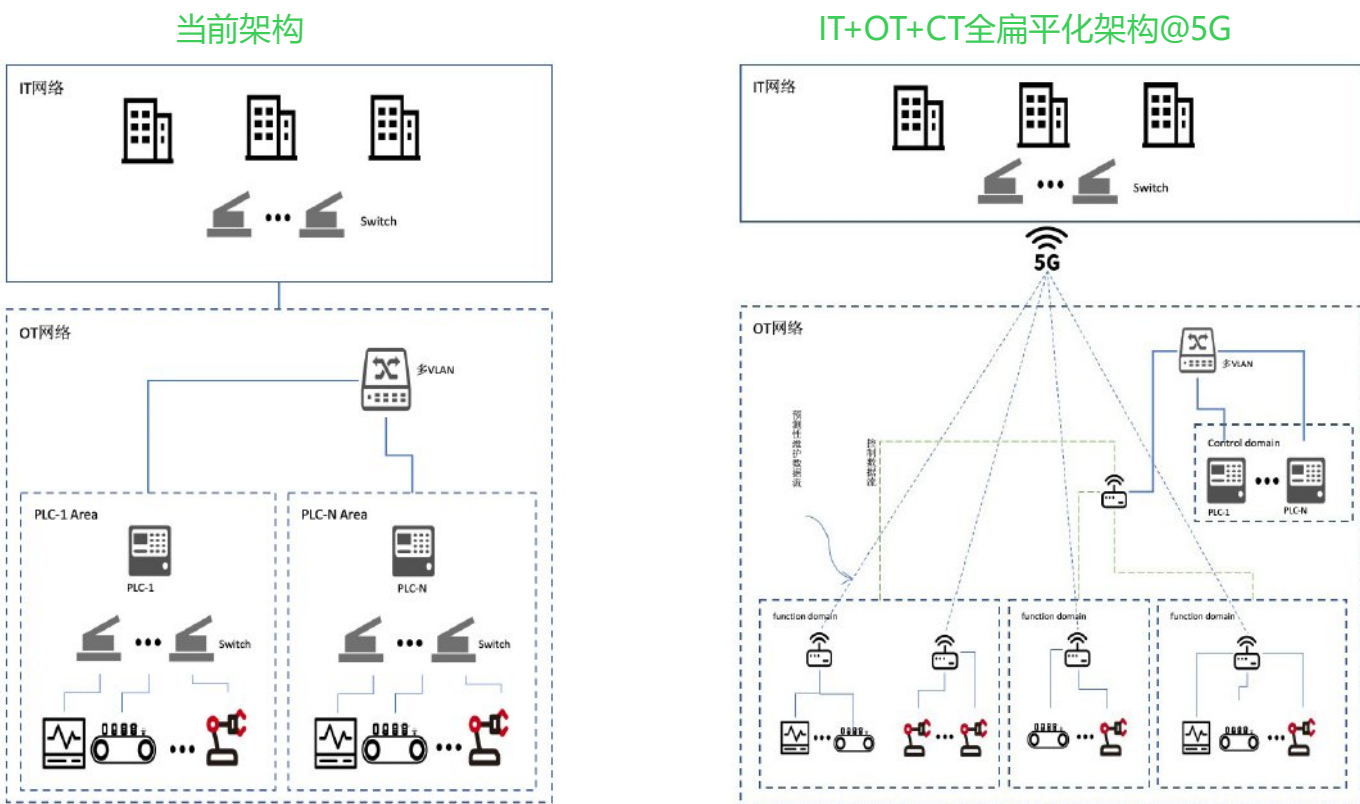


图1. IT+OT扁平化架构与IT+OT+CT全扁平化架构对比



3. 少人化无人化控制

自动化一直是工业发展的核心，也是未来工控领域发展的方向，云计算、5G等新技术正在加速这一趋势。

少人化无人化提升生产效率，5G使能远程控制促进少人化无人化发展。

随着中国人均收入不断上涨，制造业人力成本持续攀升，生产过程中少人化的作用逐渐显现。少人化无人化的目的不旨在削减人员数量，而是通过少人化无人化途径减少可重复工种、低附加值或者从事危险性工作的人员数量，并培训被削减的人员，使其适应更高附加值的岗位来为企业创造更大价值。煤矿、钢铁水泥等流程制造行业和港口、建筑、冷库等行业的少人化无人化诉求主要体现在起重运输应用，例如钢铁厂利用远程控制行车，无人化行车实现物流分拣的全流程自动化。这类应用过去通过光纤或者Wi-Fi连接实现远程操控，但光纤的部署距离长、成本高，Wi-Fi可靠性不高且室外场景覆盖距离受限，故5G正逐渐进入这类应用场景，提供灵活可靠的无线联接。

4. 开放自动化

在工业互联网和数字化转型的浪潮下，工业领域正在经历一场颠覆性变革，工业体系和互联网将进行深度融合。得益于机器学习、增强现实、实时分析和工业物联网（IIoT）等各类技术的进步，工业企业和制造商将有望满足当前这个时代对敏捷和数字化的需求。然而，在企业实现工业4.0愿景的过程中，各类封闭的专有自动化平台对效率形成一定障碍，不利于多元自动化系统集成，而且升级和维护成本高昂。工业领域一直因缺乏适应性、模块化和互操作性而备受困扰，同时这些问题也阻碍了行业创新。

作为全球能源管理和自动化领域的数字化转型专家，施耐德电气推出以软件为中心的EcoStruxure™开放自动化平台，同时呼吁业界广泛采用开放自动化标准，激发行业协同创新，以提高效率、生产力、灵活性和可持续性。

开放自动化基于IEC61499标准的“即插即生产”自动化软件组件组成的系统，5G助力更灵活的分布式部署。

开放自动化采用IEC61499事件驱动、开放的自动化工程设计和分布式部署，可实现将自动化应用程序与硬件分离，使用一种建模语言来设计多种工业边缘应用，实现原生的IT/OT融合，真正实现以资产为中心自动化。结合5G高带宽、低时延。

02

5G和5G演进

2015年6月,ITU定义了5G应用的三大领域,即增强型移动宽带(eMBB)、大规模机器类通信(mMTC)和高可靠低时延通信(uRLLC),确定了5G通信技术的服务对象从传统的人与人通信拓展到人与物、物与物通信。5G演进是对5G场景的增强和扩展。增强针对的是ITU定义的三大标准场景,即eMBB、mMTC和URLLC。引入REDCAP增加终端类型,满足mMTC场景下宽带物联对多样化终端的要求;增强可靠性低时延能力,使得5G能规模进入工业控制领域。扩展针对的是UCBC上行超宽带、RTBC宽带实时交互和HCS融合感知通信三大新场景。

5G商用部署后确实实实在在地改变着既有的生活方式和生产方式。面向人类生活,基于5G的移动互联网覆盖更好、速度更快、时延更低,资讯的获取更加便利和快捷,业务体验更加个性化。面向企业生产,5G网络的引入,从解放双手、解放双眼,到未来逐步解放大脑;无人矿山、随时随地气象云图高清监测、河道污染监测等等,5G不仅改变了生产方式,也进一步解决了生产力。

然而要达到万物互联的目标,5G的能力依然需要不断的演进和增强,才能够迸发出强大的生命力,实现产业的可持续发展。2021年4月,3GPP基于5G持续演进考虑,正式确定5G-Advanced为5G演进标准名称,5G-Advanced将从R18开始,R18版本将在年底立项,预计2023年底标准冻结⁴。

3GPP将启动5G-Advanced的内容定义,或在5G基础上扩展3大新场景,包括UCBC上行超宽带、RTBC宽带实时交互和HCS融合感知通信,并继续增强原有三大标准场景的能力,即eMBB、mMTC和URLLC。对于工业控制应用场景,URLLC的持续增加将进一步降低时延提升可靠性,从而更好的满足智能制造对联接的需求,特别是运动控制的要求。UCBC将持续增强大上行能力,随着工业制造场景数据采集需求的增多,数据采集频次的提高,视频类应用的广泛使用,UCBC将发挥越来越重要的作用。而随着5G逐渐进入工业内网,将会有越来越多的工业设备通过5G网络联接,海量物联的需求也将促进mMTC的持续增强。

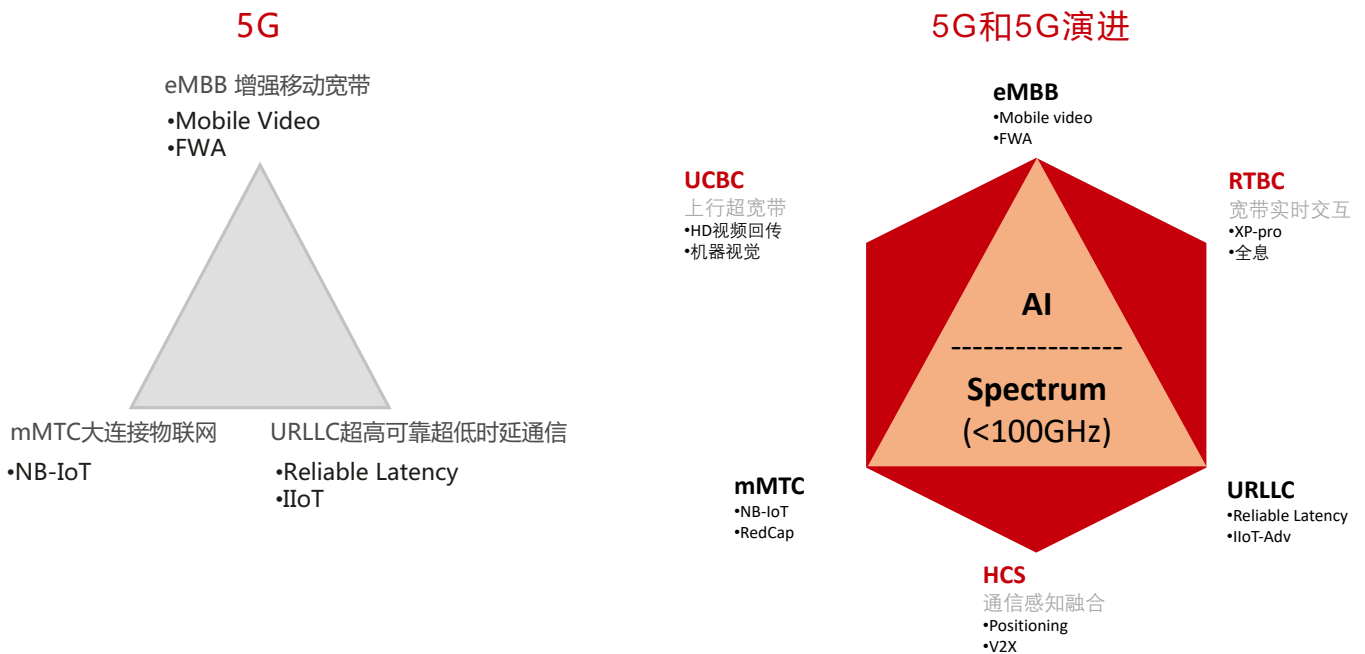


图2.3GPP推出新标准5G-Advanced (5G演进)

⁴3GPP第46次PCG会议,北京,2021.04

03

离散制造行业的 柔性生产

柔性生产意味着制造产线需要灵活的调整，从而驱动端侧设备从有线走向无线化。无论是少品种多批量还是多品种小批量离散制造，制造单元的无线化都会对柔性生产带来一定的价值，针对多品种小批量离散制造工厂的场景无线化价值更为突出。

1. 多品种小批量离散制造工厂的5G柔性产线

行业趋势

离散制造行业中,面向行业客户的机械、装备、工业用品等产品的制造多为多品种小批量的生产模式,而面向最终消费者的汽车整车、3C等产品的制造多为少品种大批量的生产模式。随着工业生产模式逐渐走向以最终客户需求为导向,智能制造特别是多品种小批量离散制造正从MTS (make-to-stock, 备货型生产),走向MTO (make to order, 按单生产)以及ETO (engineer to order, 按订单设计),柔性制造单元已广泛的应用在多品种小批量类离散制造行业,

单工位具有适应加工多品种产品的灵活性,典型应用包括机器手臂可根据不同的产品加工更换不同的夹具,测试机柜兼容多种不同产品的物理接口等。柔性制造线实现生产线级别的柔性化,其技术已日臻成熟,正逐步应用到多品种小批量的离散制造行业。柔性制造线还在进一步演进,进行多条产线的制造单元之间柔性化组合,形成工厂级的柔性生产。



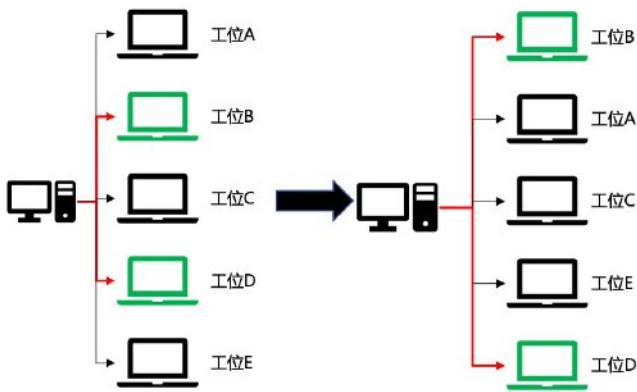


典型应用场景

多品种小批量离散制造工厂的组装产线为当前柔性产线的典型应用场景。以施耐德电气无锡普洛菲斯工厂为例，该工厂可生产10000+产品类型，接受1pcs产品订单，并提供PO (purchase order) + 1 day出货能力。为了满足这种多品种小批量的需求以及快速的客户需求响应，普洛菲斯工厂已部署近50条组装产线，然而一方面工厂生产区域利用率已达极致，另一方面多个组装产线常年处于负载不均衡的状态，生产效率并未充分优化。

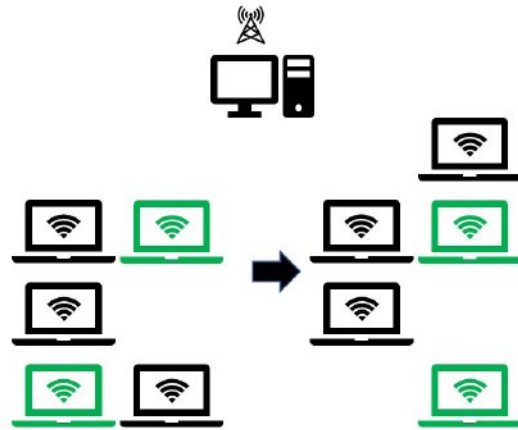
在这种多产线负载不均衡场景下，基于柔性的解决方案能最大化生产空间利用效率。以一个产线区域为例，传统方式仅能支持一类产品生产从而导致负载不足，而柔性产线可根据不同类型产品的订单重新对产线进行组装，即可按照不同类型产品的工艺要求重新分配并部署不同类型的组装工位，从而重新组成一条新的产线。这样的柔性可在不同类型产品生产过程中实现时间复用，从而达到该产线区域的利用率最大化。

传统柔性产线



需要重新编程排线，工位摆放固定

无线柔性产线



自由组合，无需排线

图3. 柔性产线示意图



技术要求和挑战

柔性产线在重新组合的过程中应该做到对操作人员技能要求的最低化,即在重新组合过程中不需要其他技术人员介入和投入,基于这样的要求,柔性产线的设计具有一定的技术要求和挑战,包括:

- 1. 灵活快速的通信配置:** 基于柔性产线,所有的工位都成为移动性工位,每个工位原有的基于有线网络的连接面临较大挑战,例如随着工位物理位置的变化,需要连接的有线网关是不同的,需要连接的端口的VLAN等配置是不同的,这些配置需要IT人员在每次产线调整过程中介入进行相应的配置调整。
- 2. 无线通信的高可靠性和低时延:** 基于柔性化产线,PLC集中化也会被更为广泛地应用,而PLC集中化会导致PLC和IO设备的工业总线RT (Real-time) 通信承载在无线网络上,而工业总线对可靠性、时延的要求都较高,可靠性通常需达到99.99%及以上,基于不同的应用,时延要求从50ms到低至10ms不等。
- 3. 气和电的便捷连接:** 产线柔性化设计也需要考虑电和气的连接的“无线化”,例如利用快插接头实现简单灵活的连接操作。

应用5G的驱动力

对比有线组网,通过无线来支持柔性产线的多工位联接具备更高灵活性。在产线调整过程中,IT人员不需要介入进行配置调整,产线员工不需要进行网线插拔和检测工作,可以做到网络联接的完全柔性化。

对比Wi-Fi网络,5G能提供更高的可靠性、更多终端的联接能力以及更低的时延。从而更好的承载OT网络的控制指令通信,支持更多的产线设备直接基于5G接入网络。



04

起重运输的 少人化无人化 控制

起重运输行业具有一定的共性，工作环境危险或恶劣、工作重复性高、招工日益困难等因素驱动着起重运输向少人化无人化的远程控制方向发展，而使能远程控制驱动着端侧设备无线化。



1. 钢厂5G无人行车应用

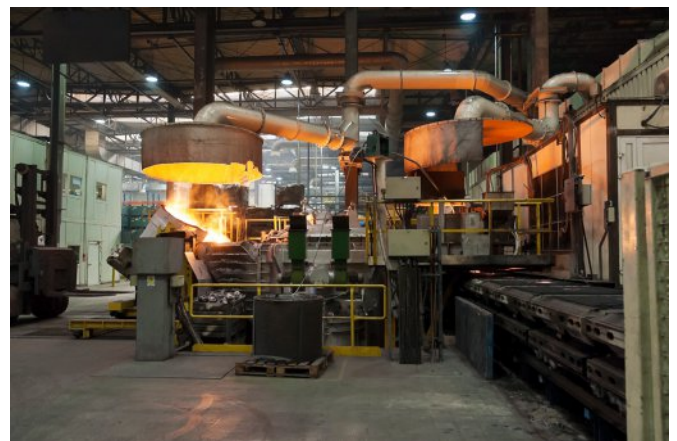
行业趋势

钢铁行业作为一个劳动密集型的行业，大量的岗位依靠人工，尤其是在库区内。人员长时间疲劳作业，安全隐患高，效率低。随着数字化和信息化技术成熟，智能化的库区综合管理系统实现了IT/OT融合，使库区离散化的信息实现了互联互通。库区智能化发展经历了2个阶段：

阶段一：基于CLTS (Crane Location Track System) 的库区管理系统，即库区投入数字化的仓库管理系统 WMS (Warehouse Management System)，再通过行车的手动吊运完成生产作业，解决了库区内物料信息需要大量人员手动维护的问题。

阶段二：基于智能行车的库区管理系统，即在投入 WMS 系统后，对行车的自动化进行智能化改造，使整个库区的作业实现完全无人化，解决了 CLTS 系统行车还需人员操作的问题。

随着智能行车库区管理系统的发展，行车操作人员和地面管理人员不再需要在库区内进行现场生产管理，部分人员会在中控室对生产进行监控和管理。基于这种方式，大量生产数据和视频画面信息需要回传到中控室，对网络的带宽和稳定性提出了更高要求。同时，为方便物料搬运管理，自动化移动设备正在增多，也推动部署无线网络的诉求增多。





典型应用场景

钢铁厂热轧车间的板坯库是无人行车应用的典型场景。以某钢铁厂为例，为满足其计划年产450万吨新建工程，拟在板坯库设计并建设一套无人全自动行车控制系统 IACS (Integrated Autonomous Crane System)，对库内复杂的物料进行有效管理，提高物流流通效率，实现对库

内行车吊运环节的信息化与自动化，保证物流与信息流的一致性。这既做到了减员增效，又大大减少了物料流转过程中人工失误的概率。

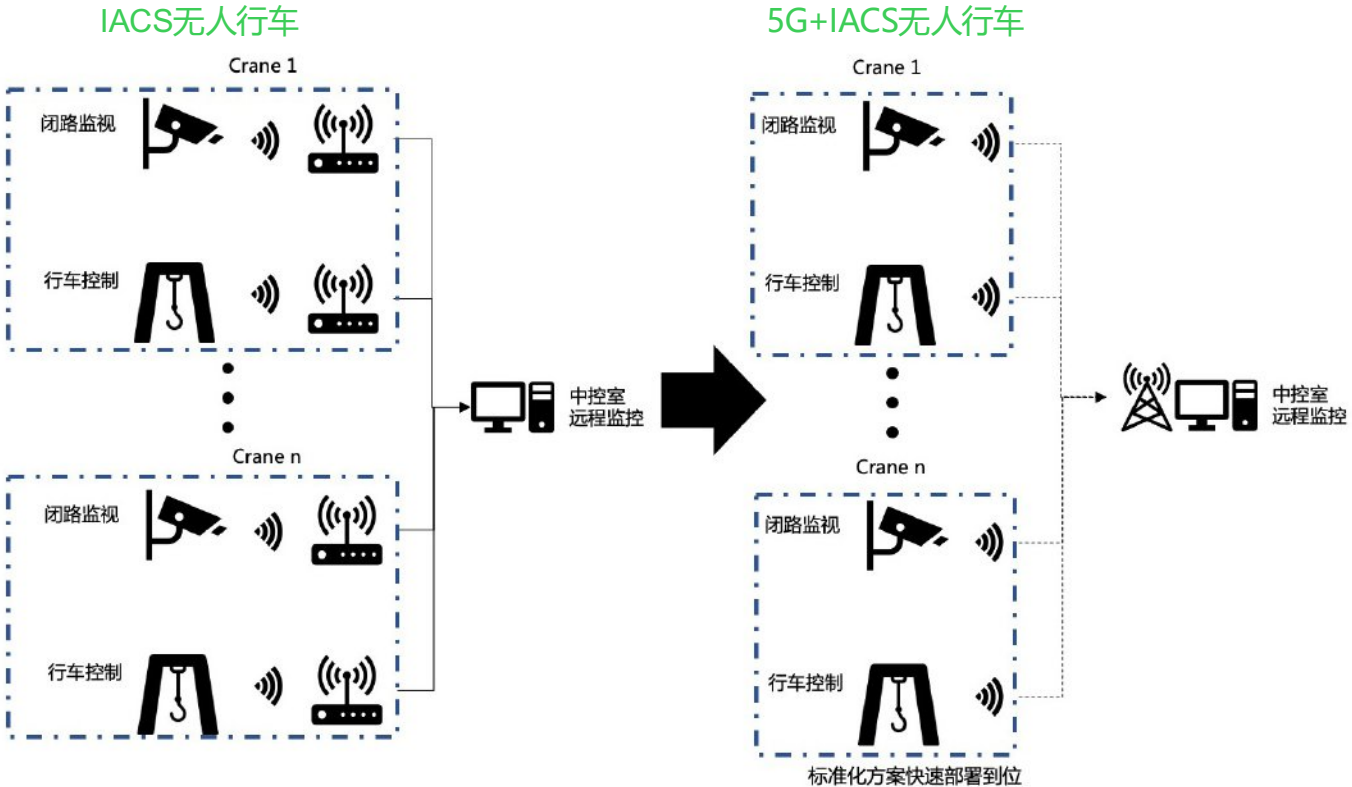


图4. 5G+IACS无人行车架构



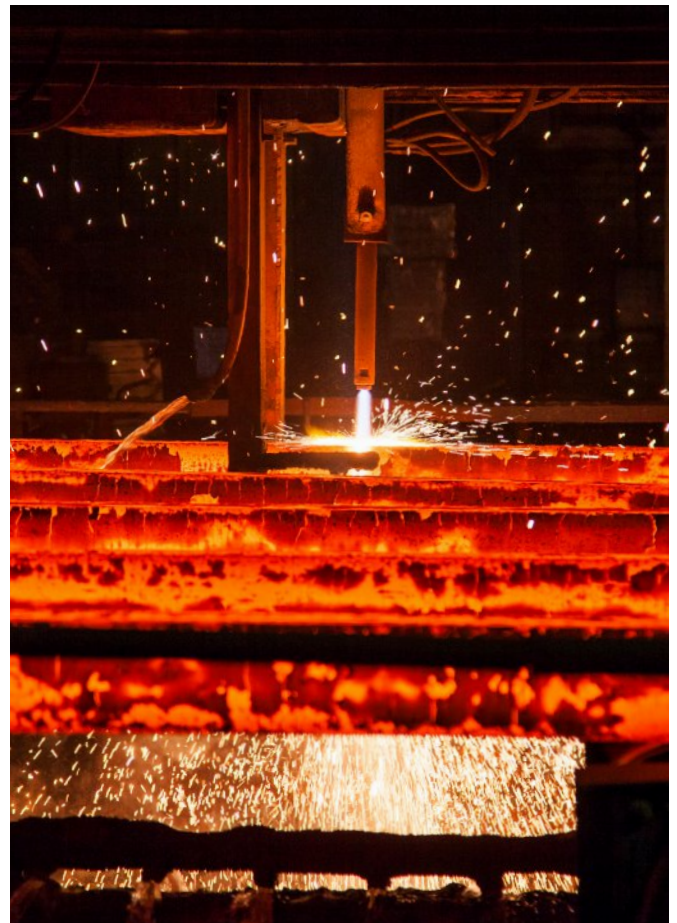
技术要求和挑战

行车作为钢厂生产车间的主要搬运设备,安全性和可靠性至关重要,其作业效率将直接影响产能。复杂的地面情况给设备的运行带来很多安全问题,每年都会因行车操作方面的问题,导致不同程度的事故,例如造成地面机组设备损坏,甚至造成人身安全问题。通信网络作为行车控制架构中的一部分,尤其是在无人行车库区管理系统中,起到至关重要的作用,不仅关系着系统架构的灵活性,还决定了整个项目的稳定性和安全性。基于这样的要求,钢铁厂无人行车应用的通信网络具有一定的技术要求和挑战,包括:

- 1. 控制信号的优先级配置或隔离:**基于传统的工业Wi-Fi的方案,考虑无人行车的安全性和可靠性,将部署两套Wi-Fi,一套用于自动化控制,另一套用于CCTV(Closed-Circuit Television)远程监控,通过这样的方式隔离了控制和监视的通道,避免网络通道占用而影响控制信号的实时性。
- 2. 无线通信的高可靠性和低时延:**行车作为特种生产设备,对无线网络质量的要求也较高。当行车吊运板坯移动时,不稳定的网络将造成行车急停,产生极大安全隐患。同时在地面突发安全事故前,需要在库区内或中控室快速中止行车运行,确保在事故发生前停止行车运行,避免更多事故发生。基于这样的业务诉求,中控室PLC与行车PLC之间通信时延应小于50ms,连续丢包小于3个,平均丢包率小于1%。紧急制动IO与中控室安全PLC之间时延要求10ms。
- 3. 较高的上行速率要求:**行车视频摄像头通常有2~4个,用于特殊情况下的远程操控,故单个无人行车上行带宽速率要求达到10Mbps以上。

应用5G的驱动力

Wi-Fi网络作为成熟技术,已经在多个无人行车项目中投入使用,也保障了项目的可靠运行。未来,5G作为一种可替代Wi-Fi的技术方案,具有可控的干扰协同能力,更容易实现无人行车系统方案的标准化以及现场快速部署。此外,5G网络具有更佳可靠性和低时延能力,基于5G切片功能支持一张网一套设备服务控制和监控两套系统的要求,这些都更好的适配了无人行车应用的需求。



2. 5G塔式起重机远程控制

行业趋势

塔式起重机，是指机身为塔架式结构的全回转臂架式起重机，为大型土木工程建筑地盘内常见的运输工具，通常约有10层楼高。塔式起重机的工作环境比较恶劣，操作人员上下较困难。部分场景普通人员难以进入，例如核电站修建维护起重机。此外，因工作环境较差，塔机操作人员的技术要求较高，人员招工成本逐年增高。这些原因都导致塔式起重机的远程控制正愈发受到重视，也成为智慧工地发展的重用应用趋势之一。

典型应用场景

大型土木工程建筑工地，会配置多台塔式起重机，每台塔式起重机都需要配备相应的操作人员，且每台塔机都需要多名操作人员进行轮班。远程控制改造后，每台塔机将安装4~6个摄像头，并且所有的塔式起重机都可以和中控室的控制系统连接，操作人员在中央操控室通过操作台上的主控制器和按钮等操作元件操控起重机，通过视频系统查看实际操作效果。操作人员可以任意切换其所操作的起重机。起重机的状态全部反馈到中控室，通过软件系统画面实时显示起重机的各种状态。

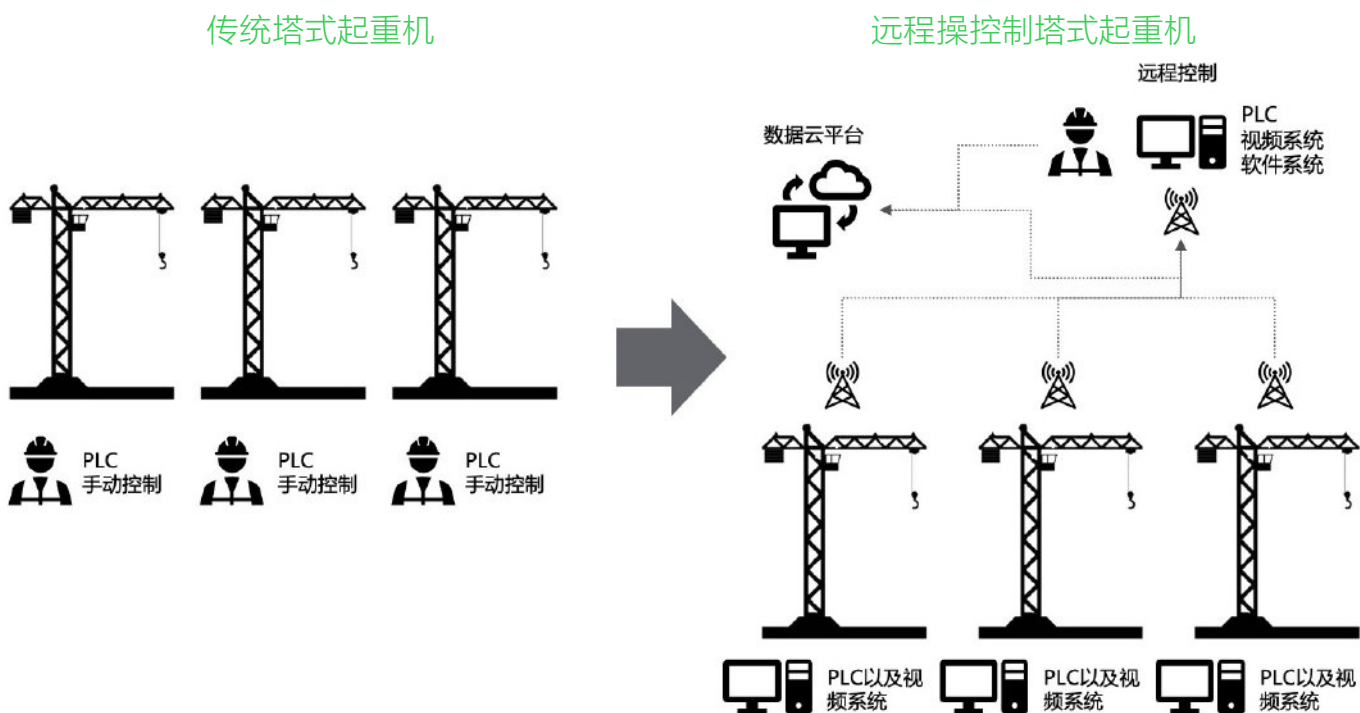


图5. 5G塔机应用场景架构



技术要求和挑战

塔式起重机的远程控制具有一定的技术要求和挑战,包括控制信号的远距离传输、低时延要求和视频数据的实时传输。

- 1. 较高的上行速率要求:**塔机视频摄像头通常有4~6个,用于远程控制室辅助远程操控。每个摄像头要求5~10Mbps的速率。
- 2. 网络的低时延能力:**地面IO(紧急停车)与PLC之间时延要求10ms。远程控制室PLC与塔机PLC之间进行心跳校验,时延要求为20ms,虽然考虑远程控制室IO到塔机PLC之间的响应总时延实际可以接受端到端100ms,但越短的时延对远程操控的体验越佳。
- 3. 网络的高可靠性:**网络可靠性至少需要达到99.99%。

应用5G的驱动力

大型土木工程建筑工地部署光纤用于远程操控难度很大。Wi-Fi网络在室外环境的功率较小且干扰不可控,难以提供较好的网络覆盖和高可靠性的无线连接。在这类室外场景中,5G能提供更好的无线覆盖,此外利用5G切片提供的虚拟专网,为塔机提供高可靠性和低时延的网络能力,能更好的使能塔机的远程操控。



3. 基于5G的立体仓储应用

行业趋势

智能物流与仓储自动化已被列为我国重点发展的五大核心智能制造装备之一，得到政府与制造企业高度重视，越来越多的制造企业正在或准备实施智能物流建设项目。实现智能物流系统与智能制造系统的互通互联、深度融合成为不容忽视的课题。

随着自动化技术和信息技术在自动化立体仓储广泛运用，立体仓储的发展呈现以下趋势：

1. 仓储作业管理自动化水平将会逐步提高，智能、信息化技术将获得更多应用；
2. 仓储作业向柔性化方向发展；
3. 立体仓储将更加依赖于网络的安全性和快速性。



典型应用场景

自动化立体仓储是当前仓储系统最典型和最先进的的模式,又称为立库、自动化存取系统AS/RS (Automatic Storage & Retrieval System),其采用高层货架、立体仓储,最大限度的利用仓库的纵横空间,提高仓库使用率,采用托盘或货箱存放货物,使得货物破损率显著降低,并使用WMS (Warehouse Management System)、WCS (Warehouse Control System)管理与控制堆垛机进行存取作业。

其主要包含三大块软硬件设备:

1. **外部软件:**ERP、MRP、WMS、WCS、其它软件。
2. **仓库管理系统:**入库管理、出库管理、库位管理、库存调整、历史记录、物料查询。
3. **产线设备:**输送线、AGV、RGV、堆垛机、机器人、信息显示屏。

自动化立体仓储要求系统全部实现机械化、自动化,节省人力并提高作业效率,有效的利用仓库管理系统实现作业过程的自动控制,并进行相应的信息处理。

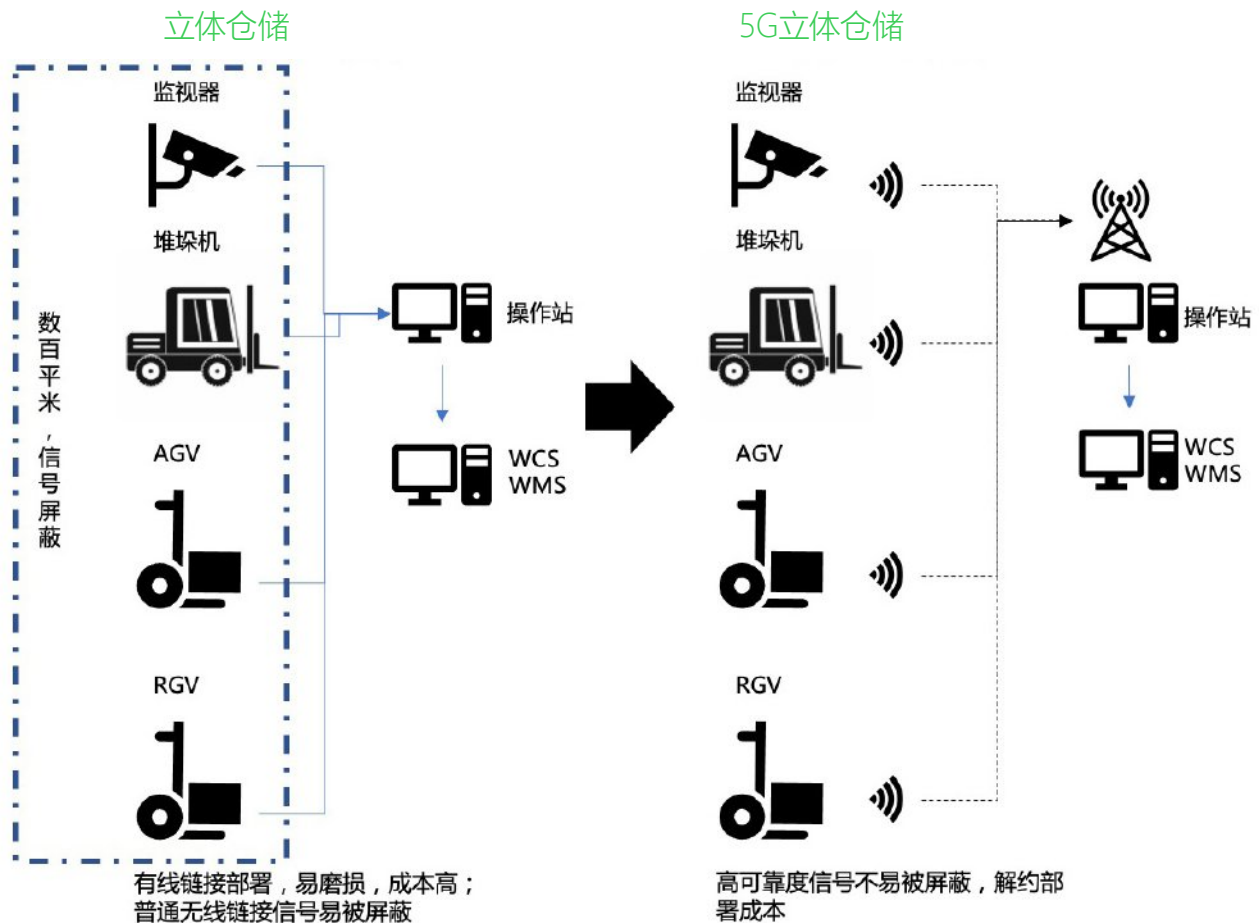


图6. 5G立体仓储架构图



技术要求和挑战

立体仓储在建设初期就应当考虑众多设备之间的互联互通、数据交换等问题。尤其是在立库建立后，仓库犹如巨大的屏障，阻止或降低Wi-Fi等无线信号的传输，因此一个可靠有效的信号传输方式就显得尤其重要。

- 1. 无线通信的覆盖能力：**立体仓储中所有设备均为金属设备，金属设备本身就是一个屏蔽体，影响着立体仓库中无线通信的覆盖。此外，立体仓储中的堆垛机、RGV、AGV都是一直处于移动状态的设备，确保信号在移动状态中稳定性就显得格外重要。
- 2. 无线通信的低时延能力：**立体仓储中的设备为全自动化设备，从仓储管理软件接受到指令，到开始执行指令，网络的时延对最终仓储设备的效率影响很大，越低的时延越能提供更高的执行效率。

应用5G的驱动力

基于有线组网的立体仓储，存在大量的线缆部署，会有较长的部署周期以及线缆成本。此外，立体仓储的堆垛机等设备常年处于较高速移动过程中，对线缆的磨损也较大，可能影响整个系统的稳定性。

基于5G的无线通信连接方式，能节省自动化立体仓储的部署周期，且减少网络运维问题。5G网络的低时延和高可靠性能力也能充分满足自动化立体仓储对网络的要求，更好的支持各类移动性终端的操作。

05

运动控制场景 的无线化

运动控制(Motion Control)一直是5G关键目标应用场景之一,也是5G低时延高可靠性(URLLC Ultra-Reliable Low-Latency Communication)的需求驱动场景。

1. 基于5G的运动伺服控制系统

行业趋势

运动控制是通过对机械运动部件进行实时的控制管理，使各个运动部件协同的按照预期运动轨迹和规定的运动参数进行运动。运动控制被广泛应用在制造、包装、印刷、和各类装配工业中，可以说，运动控制是工业制造领域应用广泛且高端的技术。运动控制场景中，伺服电机往往伴随加工平台一起转动，电机的动力电缆和反馈电缆不能360度转动，小范围的高速反复旋转也会导致线缆易于损耗。故工业应用领域一直尝试用无线化技术来解决运动控制的线缆部署问题。

典型应用场景

多数场景中，运动控制协同的运动部件通常在8轴以下，这种场景可采用CANOpen总线协议支持，8轴的总体控制时延要求在4ms以下。目前也有越来越多场景要求协同的运动部件在8轴以上，这种场景需要通过SERCOS或EtherCAT协议来支持，往往要求的总体控制时延低至1ms。其中，在灌装机、洗瓶机等场景中因为涉及大角度转动，往往是利用滑环来进行运动参数的采集和命令传送。由于滑环是接触性滑动连接，一旦接触不好就会造成停机，动力线的偶发性异常可以利用电容进行保护，但通信线路不具备保护措施，故对滑环要求很高，且实际使用中故障率依然较高。所以从运动控制场景看，研究开发基于CAN总线的滑环替代是无线化应用的第一阶段典型场景。该场景的无线化，也可以使能伺服电机的组态柔性连接。

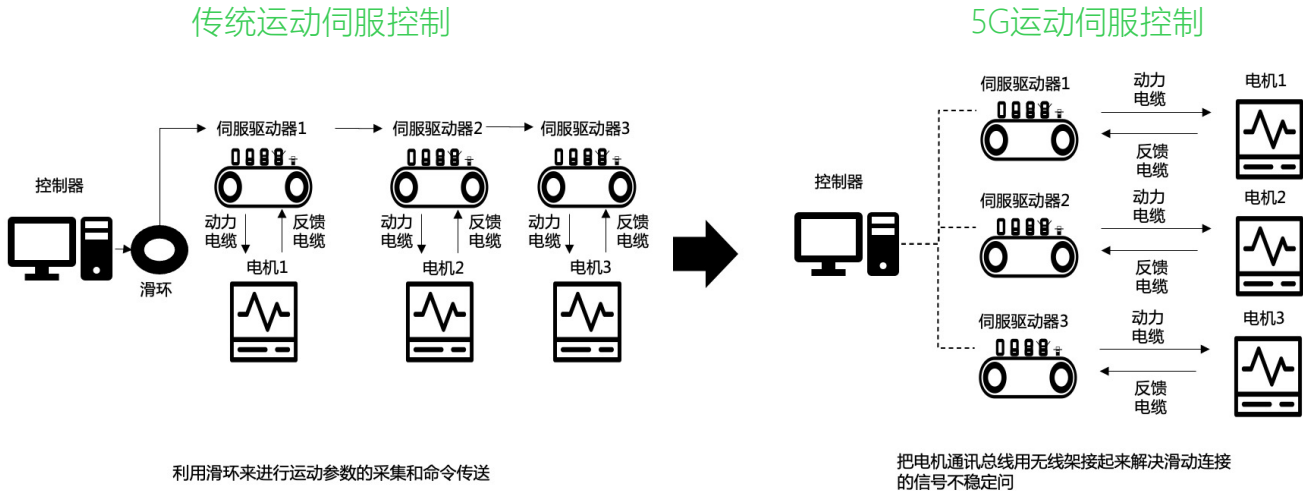


图7.未来可能的5G运动伺服控制系统架构图



技术要求和挑战

运动控制对网络的可靠性和时延性要求极高：

- 1. 通信的时延要求高：**典型CANopen总线场景为8个电机轴4毫秒，典型SERCOSIII总线场景16轴需达到1毫秒。基于有线组网，电机轴的通信为串行方式，基于无线组网，电机轴的通信是并行方式，故针对单终端，CANopen总线时延为4毫秒，SERCOSIII和EtherCAT为1毫秒。
- 2. 终端授时和同步：**多轴电机需要同步协同，基于无线组网也需要保证各个终端的同步性，故终端授时功能成为必需。
- 3. 可靠性：**离散制造行业的运动控制可接受一定的故障率，特别是滑环类场景，因为滑环本身也存在一定的故障率，但应保障不连续丢包，避免不必要的停机。

应用5G的驱动力

随着5G及5G演进技术的发展，5G将逐步提供4ms甚至1ms时延的商用能力，此外5G已支持空口授时的功能，5G的这些特性是Wi-Fi和4G网络无法提供的。基于这些能力，针对滑环场景，5G未来可能提供比滑环更可靠的网络联接能力，也可以使能伺服电机的柔性化组态。



06

OT和IT网络融合

OT和IT网络融合已成为工业控制领域的确定性趋势。基于无线网络架构承载OT和IT网络目前主要来自两个驱动力，一是无线网络提供的更为灵活的扁平化架构，另一个驱动力是新工厂或原工厂信息孤岛场景下，无线网络提供更为快速的部署、更为简洁的网络。

1. 基于5G的发动机生产线MES数据采集系统

行业趋势

随着生产过程的实时监控和设备状态实时管理的要求增多,产线设备的各类信息都需要通过OT网络传递到IT网络,并使用相关IT技术对生产过程进行赋能。现场数据采集系统的实时性,正确性,以及采集方式的柔性化,成为整个生产信息系统是否能正常运行的关键因素,扁平化架构的优势和价值也逐渐在这类应用中得以体现。

典型应用场景

汽车发动机生产线是典型的离散制造系统,包含缸体线、缸盖线、装配线等线体,设备主要由数控机床等机加设备以及在线检测设备组成。当前,汽车发动机的品种越来越多,多平台、不同排量共线混流,同一排量发动机在不同批次下存在多种配置。数据采集系统作为基础功能,实现对现场设备采集,为各功能模块的实现提供数据基础,并为数控程序提供下发服务。

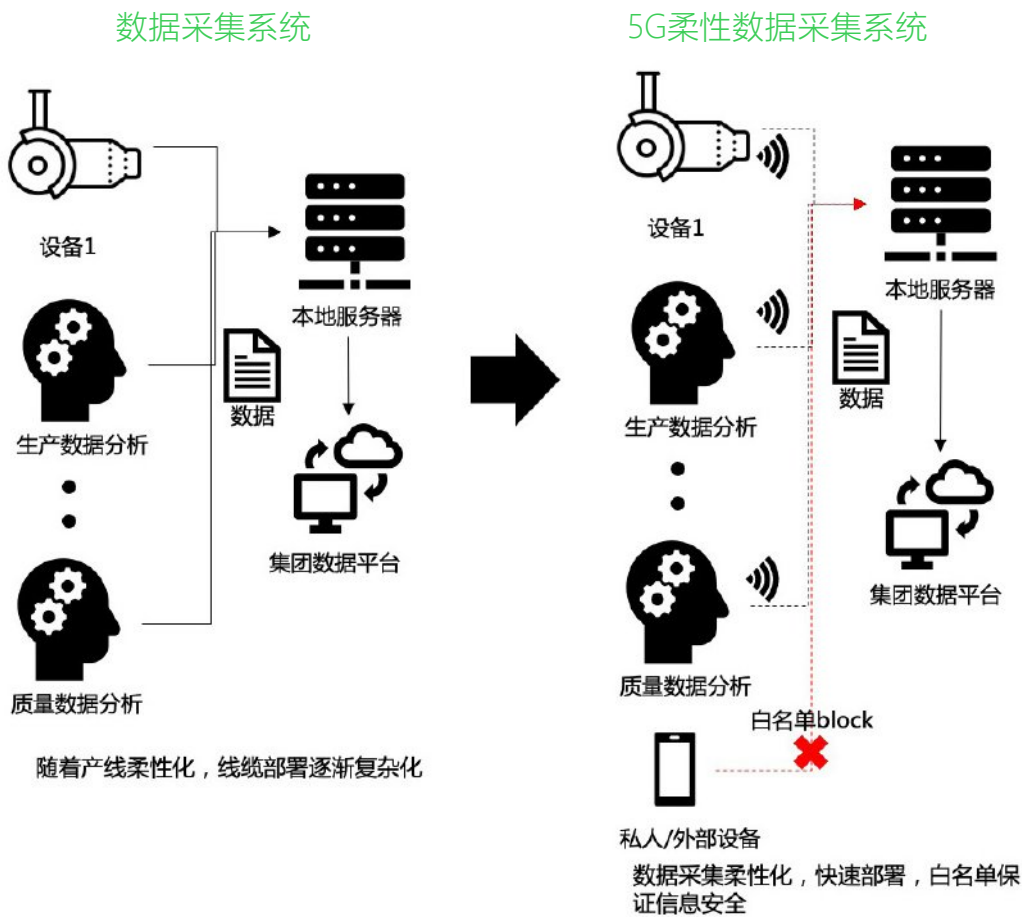


图8. 5GMES数据采集系统架构图

技术要求和挑战

为满足发动机缸盖生产线的特点以及相关信息系统对数据的要求，发动机生产线数据采集系统有如下要求：

- 1. 低延时要求：**数控机床的数据采集需要很高的采集频率，例如主轴转速、负荷、特定坐标参数等，要求从采集终端至内网服务器时延小于10ms。
- 2. 上行速率要求：**基于数据的高频率采集，完整的参数采集会产生大量上行数据，同时现场移动端的应用需要上传相关音视频数据，因此对上行数据有较高要求。
- 3. 可靠性要求：**高频率的关键数据采集要求网络数据传输有较高的可靠性，丢包率要求小于0.1%。

应用5G的驱动力

在生产信息系统中，数据采集是个基础功能模块。相对于传统的有线交换机以及Wi-Fi无线方案，5G数据采集方案具备无线通信相关优点，可以更加灵活的在工厂内部署数据采集点，支持更灵活的扁平化架构。同时，5G还具有低延时、高速率和更高的连接密度等能力，低延时能力使得通过无线方式采集数控机床的高频率数据成为可能，更高的连接密度可以使更多设备的数据采集要求。



2. 基于5G食用菌工厂化种植

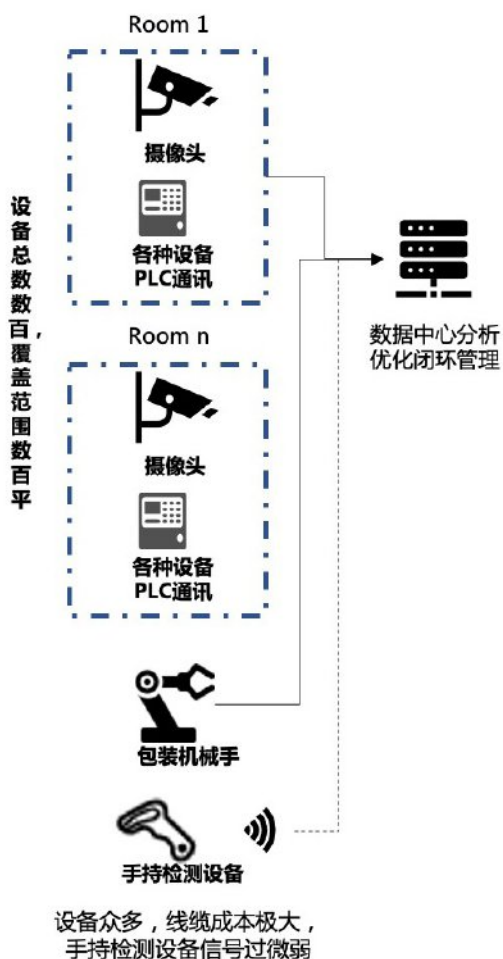
行业趋势

随着经济的快速发展,民众可支配收入不断提高,对健康饮食的要求日益提升,农业养殖行业正越来越多的采用大范围规模化种植。以食用菌种植为例,市场对食用菌的需求量快速增长,提高食用菌产量、优化食用菌品质,减少生产中的损耗成为食用菌生产的重要目标。通过新型食用菌工厂,采用科学培养方式来提升食用菌品质成为行业的关键诉求,这样的新型工厂可以对栽培食用菌过程(菌种的培养、溏菌的流程、菌菇的栽培等)的影响因素进行全面收集,并通过AI大数据分析,持续改善设备控制参数。

典型应用场景

食用菌工厂化种植是农业养殖规模化的典型场景。食用菌工厂在几公顷范围内的多个房间内部署了大量不同类型不同功能的设备。为了采集培养食用菌过程中使用的各类设备的数据,需要将这些设备联网,主要采集一些过程数据,比如温度、湿度等参数,以及工艺的配方等,并基于这些收集的信息下发相应的控制指令。

食用菌工厂数据采集



5G食用菌工厂数据采集

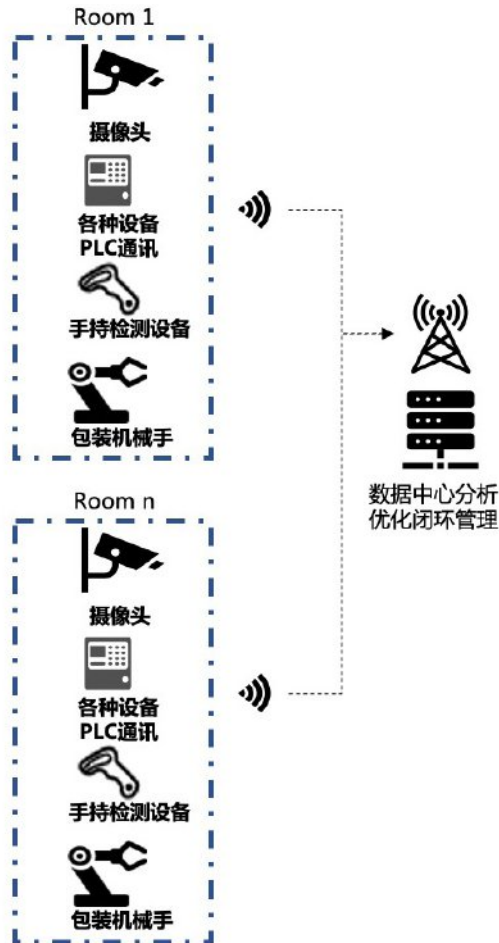


图9. 食用菌工厂架构图



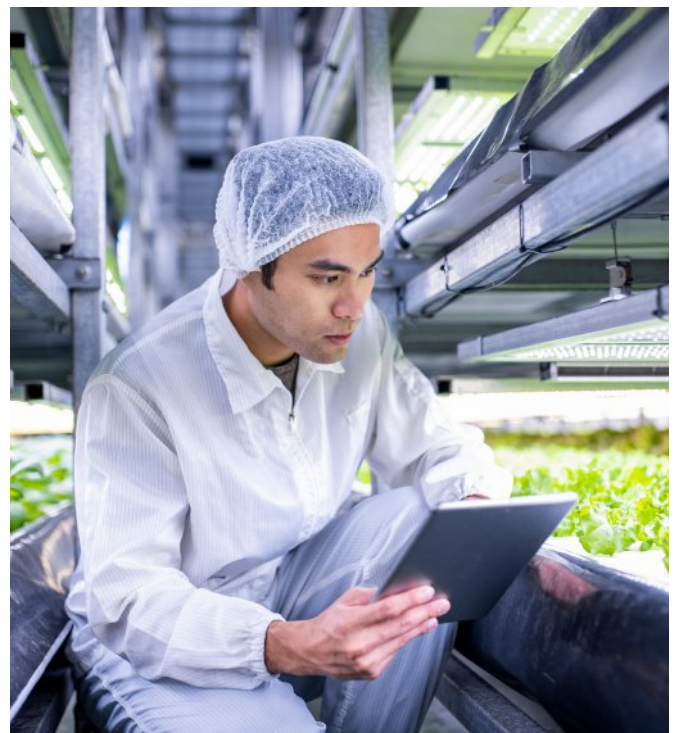
技术要求和挑战

食用菌培养工厂中使用的自动化设备数量非常多,并且散落在各个生产车间内。考虑到工厂布局和现场环境,对通信网络有一定的要求:

- 1. 通信网络覆盖:** 食用菌培养工厂范围广、设备数量多,需要良好的网络覆盖,基于光纤的部署施工时间、人力成本高。
- 2. 低功耗低成本物联:** 食用菌培养工厂存在大量传感器的接入需求,要求提供低成本低功耗的物联接入。
- 3. 通信网络的可靠性:** 食用菌培养工厂也部署了大量控制器,这些控制器会基于收集的数据调整设备控制参数。这类控制器设备的连接,需要一定的可靠性保障。
- 4. 移动检测设备接入:** 在需要保温的密闭环境内,例如栽培室,目前需要检测人员定期使用设备相机拍摄菌菇的生长状态,手持二氧化碳检测设备检测环境等,这就要求检测人员随身携带相应的检测设备,并及时高效地上传相关数据。因为环境较为密闭,基于传统的3G/4G网络覆盖,信号质量差不能提供很好的数据上传体验。

技术要求和挑战

食用菌培养工厂存在大量传感器和控制器,有线组网周期长成本高且灵活性差,基于5G网络,一方面可以减少前期光纤部署的大量施工时间,减少设计和网络验证成本,另一方面可以使方案不依赖于环境因素,快速实现标准化设计。此外,NB-IoT作为5G的一个技术,可以提供低功耗低成本传感器类终端的接入。





3. 基于5G单晶硅拉晶车间集中监控

行业趋势

能源危机和环境污染是21世纪人类世界的两大难题，煤、石油、天然气等石化能源不仅储量日渐枯竭，其开采和能源转换过程亦会对自然环境造成破坏和污染。太阳能是能够替代石化能源的新型能源，不仅取之不尽用之不竭、能量巨大，而且清洁无污染，最重要的是遍布全球，不会形成能源垄断。对太阳能的应用以太阳能发电为主，预计到2030年，太阳能发电在世界总电力供应中的占比将达到10%以上，到2040年这一占比将达到40%，到21世纪末将超过60%。

晶体硅太阳能电池技术是太阳能发电工业大规模应用的主要技术，这一技术在世界各国政府的积极推动下快速发展。据预测，最近10年是太阳能电池快速增长期，年平均增长速度超过40%。

典型应用场景

制备单晶硅棒作为晶体硅太阳能电池制造流程地第一个工序,需要对单晶炉进行集中监控。系统根据单晶硅棒的生长情况自动控制热场温度、拉晶棒及坩埚的升降与旋转速度、坩埚内氩气压力等,实现这些自动化控制需要大量实时数据、趋势曲线、CCD图像等。拉晶车间有上百台单晶炉,为了确保拉晶质量一致性,需要对这些单晶炉进行集中监控。此外,单晶棒生长过程需要24小时值守以便及时解决工艺偏差和运转故障,确保单晶棒生长不会被中断导致废料,这也是单晶炉车间集控系统的主要作用。

目前大多数单晶硅拉晶车间中,每台单晶炉的上位iPC、用于运输硅料和成品晶棒的AGV、集中监控室里的集控iPC通过Wi-Fi构成了通信网络。单晶炉上位iPC收集的实时数据通过该网络传送给集控iPC,由集控iPC进行统计分析,形成趋势图和报表,同时集控iPC也与AGV控制系统交换指令和控制信息,实现原料和成品的自动输送。

技术要求和挑战

随着单晶硅拉晶业务的不断发展,传统的基于Wi-Fi连接单晶炉联接方式存在越来越多的挑战。

- 1. 无线覆盖空间要求大:**单晶炉车间占地面积约为300m*200m,WiFi功率较小,为保障整个区域的信号质量,实际部署的点位较多。
- 2. 上行速率要求:**每个单晶炉的监控数据传输速率应不低于10Mbps,随着单晶炉规模的增加,网络容量的要求会越来越高。
- 3. 可靠性要求:**单晶硅工厂对网络可靠性要求越来越高,希望可以达到99.99%的网络可靠性,以便不会对相关业务造成影响。

应用5G的驱动力

拉晶车间占地面积大,分上下两层,炉体穿过楼板,有线网络铺设难度大,施工费用高,并且不便于灵活快速扩产。硅料、晶棒的运输正从手推车模式转向移动性设备运输模式,导致车间对无线网络的诉求增强。基于Wi-Fi网络,受限发射功率,部署点位较多,且可靠性不如5G网络。

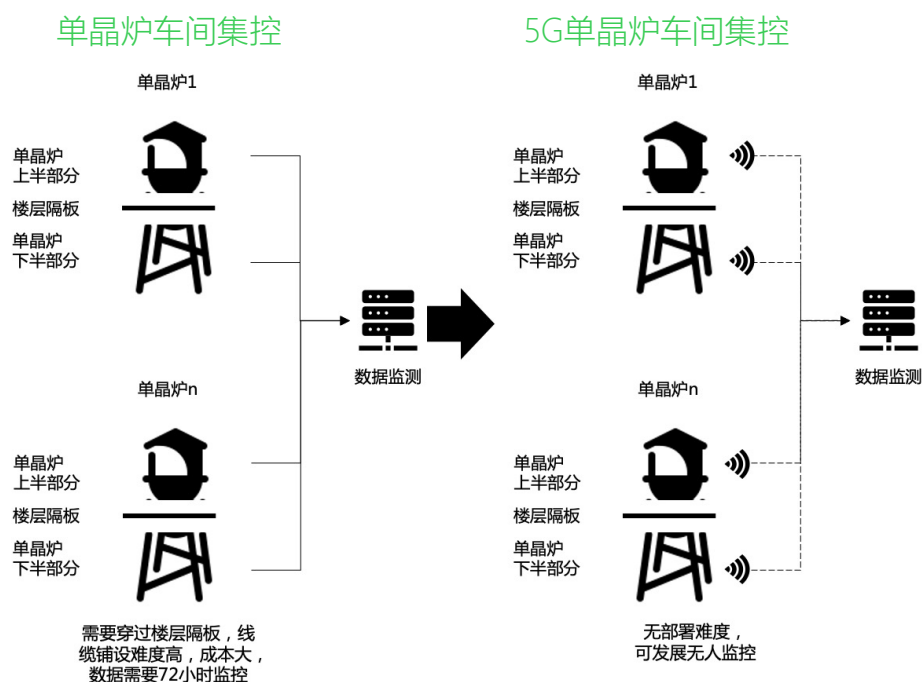


图10. 单晶炉车间集控系统示意图

07

广域工业控制系统的无线物联

广域覆盖一向是无线通信的优势领域，无处不在的覆盖能力能支持更高性价比的物联接入。5G对比3G/4G又具有进一步的优势，包括虚拟专网的能力、以及大上行的能力，能更好的支持广域工业控制系统的物联终端。

1. 基于5G的水利行业应用

行业趋势

我国的水利行业正持续高速发展,以2020年为例,全国范围内按计划部署150项重大水利工程,可新增防洪库容约90亿立方米,治理河道长度约2950公里,新增灌溉面积约2800万亩,增加年供水能力约420亿立方米。防洪减灾工程56项、水资源优化配置工程26项、灌溉节水供水工程55项、水生态保护修复工程8项、智慧水利工程5项⁵。

随着水利系统的逐渐增多,水利数字化、信息化也越来越受到重视。2019年发布的《水利网信水平提升三年行动方案(2019—2021年)》提出要按照“安全、实用”总要求,构建高速互联的水利信息网,初步建成天空地一体化的水利监测感知网。水利部智慧水利整体规划,要求完善全面互联高速可靠水利信息网,建设水利大脑,构建创新协同的智能应用,提升网络安全体系。这些都推动梳理行业全面提升信息化能力。



⁵ 2020年7月13日国务院政策例行吹风会

典型应用场景

智慧水利典型场景按行业分类包括防洪减灾、灌溉、水资源配置和水生态治理与保护等。按应用类型分类包括泵站、闸站、阀站和水利枢纽等。

- 1. 灌区应用：**灌区是由水库、渠道、田地、作物组成的一个综合体。灌区数字化应用包括信息采集与监控、闸门自动化、工程安全监测等。灌区数字化需要提供水情、墒情、配水调度及工程状态数据，及视频数据。
- 2. 泵站、闸站应用：**大型引调水项目需要可靠和低时延的网络支持其整个控制系统，此外，泵站、闸站还有大量高清视频传输、无人机巡流域和机器人移动巡检等应用。

- 3. 湖泊、河流的水质监测：**全国流域非常广泛，一方面水质监测的数据实时性要求越来越高，而另一方面许多水质监控点的供电设施和网络设施仍然不完善，且维护成本较高。
- 4. 无人机应用：**无人机正逐渐用于水利系统的数据采集，包括防洪抗旱、应急巡检、大坝设施的巡查应用。

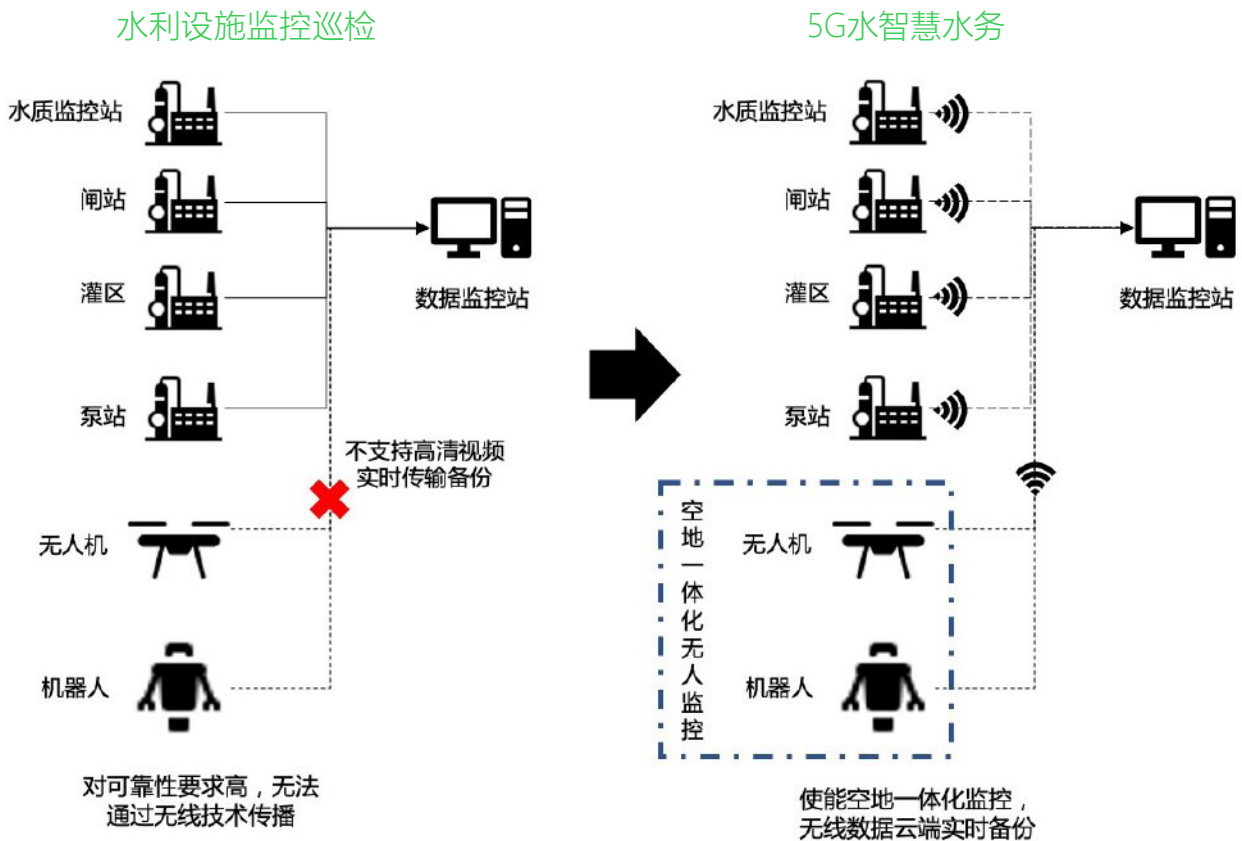


图11. 5G水利行业架构图



技术要求和挑战

整个水利行业的应用种类较多,对网络的需求也有所不同,主要包括:

- 1. 广域宽带物联:**水利行业的应用特点是范围广,许多场景中会大量使用无线通信技术,例如灌区目前已多数采用3G/4G的无线通信,随着视频业务的逐渐增多,水利行业对通信基础网络在广覆盖基础上提供的宽带物联需求越来越高。
- 2. 高可靠性:**泵站、闸站应用对可靠性要求较高,目前都以光纤连接为主。然而光纤铺设在各种不可预测的室外环境中,具有不可预期的损坏概率,需要提供更为可靠性的通信网络保障。
- 3. 天空地一体化覆盖:**随着无人机、移动机器人等移动性设备在水利系统的逐渐应用,水利部提出了构建天地空一体化的水利监测感知的要求,这对通信网络的覆盖是个较大的挑战。

应用5G的驱动力

- 1. 泵站、闸站等对可靠性需求较高的应用中,5G可作为光纤的有效补充和高质量备份,从而系统级地提升水利行业关键节点的可靠性。**
- 2. 灌区等场景中的视频应用逐渐增多,5G的大上行带宽能力能更好的支持高清视频的传输,支持更多的无线摄像头同时在线传输,从而能更好的支撑智慧水利的信息化。**
- 3. NB-IoT作为5G技术的一部分,可以提供低功耗的传感器网络接入,更好地支持水质监控等场景应用。**

2. 基于5G的无人值守配电站应用

行业趋势

变电站无人值守是一个传统市场,同时也是一个需求独特,持续稳定的市场。国家电网的变电站中,低于220kV的变电站无人值守,已经具有成熟的技术和广泛的应用。一方面供电系统有专业的技术人员;另一方面此类变电站与调度中心都构建了可靠的通信专线,用于远程监控和控制。但与此同时,低电压等级(10kV)用户终端配电站却始终维持人员值守,一方面由于企业自建的配电站缺乏专业的技术人员,不能放心使用无人值守,另一方面变电站的无人值守需要建设各个电站到集控中心的

专用网络来统一调度管理,高昂的建设成本制约了企业终端配电站无人值守发展。电网公司/供电局希望能有更低成本的网络接入方式助力各个企业终端变电站的联网,建立集中的监控调度中心,实现企业终端变电站的无人值守,提高变电站的自动化水平,及时发现供电隐患和故障,提高供电的安全性和可靠性,以及实现减员增效。



典型应用场景

企业终端变电站多为10kV/6kV变电站，一般分为三层。

- 1. 现场层：**现场开关柜上的电力综合保护装置，电能表，安装在各中低压配电室配电柜柜体和MCC柜现场监控设备，包括电力参数测量仪、智能马达控制器、变频器等。这些监控设备可独立完成测量、控制、报警、通讯等功能。
- 2. 通讯控制层：**PLC控制器，是整个系统数据传输的枢纽，在系统中起到承上启下作用。通讯设备采用工业交换机和光纤通讯设备。PLC控制器可以实现现场智能设备的通讯管理，也可实现变电站变压器的调压，无功补偿的投切，电源进线的切换以及负荷卸载等功能。

- 3. 上层通讯网关：**采集变电站的所有自动化信息，并转换为OPC UA或者IEC61850或者其他标准的电力通讯协议，发送至集控调度中心，并接受集控调度中心的控制命令，实现变电站的远程监控。

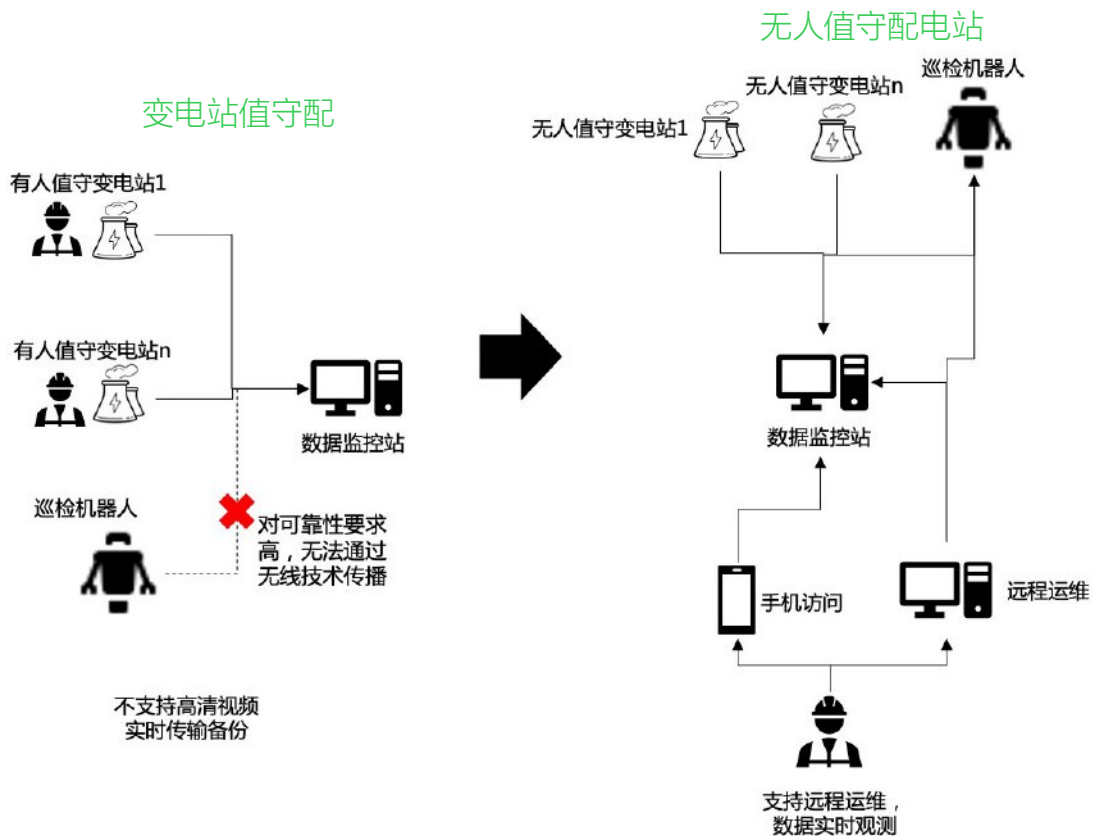


图12. 5G无人值守配电站架构

技术要求和挑战

无人值守变电站要实现无人化，需要提高自动化水平，实现远程控制和监视，同时实现远程巡检功能。因为这类应用涉及到电力控制，所以网络需要满足以下要求：

- 1. 安全和可靠：**当场景涉及电力控制时，首先必须保证安全和可靠，故要求无人值守变电站的通信网络具备高可靠性，且数据受到保护。
- 2. 上行速率要求：**如采用巡检机器人，需要传输大量的视频信息和图片信息，因此上行带宽需要5~10Mbps左右。

应用5G的驱动力

基于5G切片功能提供的虚拟专网能力，可以保证系统网络的安全及可靠性。此外，随着5G网络覆盖的提升，特别是工业园区普遍具有较好的5G网络基础，基于5G提供无人值守配电站的通信基础网络的成本对比光纤会有较明显优势。



作者：

施耐德电气(中国)有限公司

曹伟	工业自动化业务 无人行车团队首席工程师
龚子华	工业自动化业务 高级解决方案架构师
建艳龙	工业自动化业务 HEC部门经理
康彬彬	工业自动化业务 行业业务发展负责人
李幼涵	工业自动化业务 高级首席工程师
刘闪	工业自动化业务 应用设计工程师
邱睿	工业自动化业务 首席解决方案设计工程师
唐海丽	工业自动化业务 首席应用设计工程师
吴望安	工业自动化业务 首席解决方案设计工程师
徐永军	全球供应链中国区 设备及精益经理
张俊杰	工业自动化业务 高级行业市场经理

华为技术有限公司

余晖	无线网络战略与业务发展部产业发展总监
于峰	无线网络产品线 高级工程师

编委会：

施耐德电气(中国)有限公司

蔡婷婷	工业自动化业务 工业数字化转型负责人
洪岩博	战略与业务发展部 中国区生态合作伙伴负责人
佟逸扬	工业自动化业务 战略专员
王勇	工业自动化业务 中国首席信息安全官
王强军	工业自动化业务 高级市场经理

华为技术有限公司

朱成	无线网络产业发展总裁
马国建	中国政企解决方案伙伴发展部合作伙伴拓展总监
李强	企业BG战略伙伴发展部高级合作伙伴拓展经理

北京英维塔科技有限公司

黄云皓	物联网智库 研究总监
-----	------------

Life Is On

Schneider
Electric™
施耐德电气

www.se.com/cn

施耐德电气(中国)有限公司

北京朝阳区望京东路6号施耐德大厦
电话: 400 810 1315

www.se.com/cn

2021年7月

©2021 Schneider Electric. All Rights Reserved. Life Is On Schneider Electric is a trademark and the property of Schneider Electric SE, its subsidiaries and affiliated companies. All other trademarks are the property of their respective owners.

998-21444633