

# 团 体 标 准

T/CPUMT 047—2026

## 5G+工业互联网 总体架构与组网通用规范

5G Industrial internet—General specifications for overall architecture and  
networking

2026 - 03 - 05 发布

2026 - 03 - 05 实施

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 缩略语 .....	1
5 总体架构 .....	2
5.1 总体架构 .....	2
5.2 网络架构 .....	2
5.3 组网模式 .....	3
5.4 关键网元 .....	3
5.5 服务质量保障 .....	3
6 网络规划与实施 .....	3
6.1 网络规划设计 .....	3
6.2 无线接入网配置 .....	4
6.3 传输网配置 .....	5
6.4 核心网配置 .....	5
6.5 边缘计算节点部署 .....	5
7 组网技术 .....	6
7.1 概述 .....	6
7.2 无线侧关键技术 .....	6
7.3 核心网关键技术 .....	6
7.4 物联网关键技术 .....	7
7.5 网络切片技术 .....	7
7.6 超可靠低延时通信技术 .....	7
8 网络运维与管理要求 .....	8
8.1 网络监控 .....	8
8.2 运维管理平台 .....	8
8.3 网络优化 .....	8
9 安全要求 .....	9
9.1 网络安全 .....	9
9.2 用户访问安全 .....	9
9.3 数据安全 .....	10
10 性能要求 .....	10
10.1 带宽 .....	10
10.2 延迟 .....	10

10.3	连接数 .....	10
10.4	可靠性 .....	10
11	性能评估 .....	10
11.1	评估方法和工具 .....	10
11.2	评估标准 .....	10
11.3	带宽评估 .....	11
11.4	时延评估 .....	11
11.5	连接数评估 .....	11
11.6	可靠性评估 .....	11
	参考文献 .....	12

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国和平利用军工技术协会提出并归口。

本文件起草单位：哈尔滨工业大学（深圳）电子与信息工程学院、蓝象标准（北京）科技有限公司、中国联合网络通信有限公司广东省分公司、海南大学、成都凯迪飞研科技有限责任公司、苏州榷鑫电子科技有限公司、南昌临空通讯科技有限公司、联通数字科技有限公司、南京典格通信科技有限公司、北京中城汇标准化技术院、北京爱标标准科技有限公司、北京众研精诚市场调查有限公司、北京中科源途科技有限公司、北京瑞祥宏远科技有限公司、嵩嘉标准化技术服务（北京）有限公司。

本文件主要起草人：高林、段小莉、张红艳、马振翔、朱旭、刘怀哲、许高生、苏婷、朱雪辉、朱雷、朱静、刘寅春、张婧宇、曹杰、施玉晨、谷阳、张德保、姚佳、徐成利、马志强、王新亮、姜冰、隋妍、李龙岩、黄新芳、张业开、邱天、刘颖、王小林、王致远、乔华阳。

## 引 言

“5G+工业互联网”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。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。随着“5G+工业互联网”的应用不断推广，网络技术与组网、网络管理技术、5G多接入边缘计算技术、终端技术、适配增强技术、建设实施等方面需要制定相关标准进行规范和引导。

本文件旨在为工业互联网相关的设备供应商、网络运营商、平台提供商、软件应用开发商以及垂直行业用户在网络设计与组网、产品研发设计、产品生产等方面提供指导，确保各设备与平台之间更好兼容；为工业互联网开发和运维团队在边缘计算方面提供指引，保障不同平台和系统之间的信息流通；为工业互联网使用方在项目招标、项目验收、使用等方面提供技术支撑；为工信部、市场监督管理局等政府监管部门在相关政策制定方面提供依据。

# 5G+工业互联网 总体架构与组网通用规范

## 1 范围

本文件规定了5G+工业互联网总体架构、网络规划与实施、组网技术、网络运维与管理要求、安全要求、性能要求和性能评估等内容。

本文件适用于5G技术在工业互联网中的应用，包括制造业、能源、交通、物流等多个领域，用于指导相关从业人员进行网络规划、设计、实施和管理。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 42021—2022 工业互联网 总体网络架构

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**网络切片 network slicing**

在共享的物理网络基础设施上，利用虚拟化、隔离等技术，为特定业务需求构建的端到端逻辑专用网络。

### 3.2

**网络功能虚拟化 network function virtualization**

将传统上依赖于专用硬件的网络功能，通过虚拟机、容器等虚拟化技术进行软件化处理，并使其能够部署于通用标准服务器上的网络架构技术。

注：该技术实现了网络功能与硬件的解耦，从而提升了网络服务的灵活性、可扩展性和资源利用效率。

### 3.3

**组网 networking**

为实现特定通信或服务目标，进行网络规划、设计，并通过技术手段将网络元素（如终端、链路、节点、设备等）组织、连接和配置成网络的过程和结果。

注：组网通常涉及网络拓扑设计、协议选择、地址规划、设备配置与管理等一系列活动。在工业互联网语境下，组网遵循GB/T 42021—2022中确立的总体网络架构框架。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

5G：第五代移动通信技术（the Fifth Generation Mobile Communication Technology）

AMF：接入和移动管理功能（Access and Mobility Management Function）

eMBB：增强移动宽带（Enhanced Mobile Broadband）

FPGA：现场可编程门阵列（Field-Programmable Gate Array）

MIMO：多输入多输出（Multiple-Input Multiple-Output）

mMTC：大规模机器通信（Massive Machine Type Communications）

NFV：网络功能虚拟化（Network Function Virtualization）

NR：新空口（New Radio）

QoS: 服务质量 (Quality of Service)

RSVP: 资源预留协议 (Resource Reservation Protocol)

SMF: 会话管理功能 (Session Management Function)

SSL: 安全套接层 (Secure Sockets Layer)

TLS: 传输安全层 (Transport Layer Security)

UPF: 用户面功能 (User Plane Function)

URLLC: 高可靠低时延通信 (Ultra-reliable and low latency communication)

VPN: 虚拟专用网络 (Virtual Private Network)

## 5 总体架构

### 5.1 总体架构

5G+工业互联网总体架构见图1, 包括终端层、传输层、平台层、应用层、运维层、安全体系。利用5G网络技术(含与4G共存的演进阶段), 实现5G网络与现有工业现场网络(如工业以太网、现场总线等)的协同组网与融合, 为新建、改建或扩建工业网络提供系统性的指导。

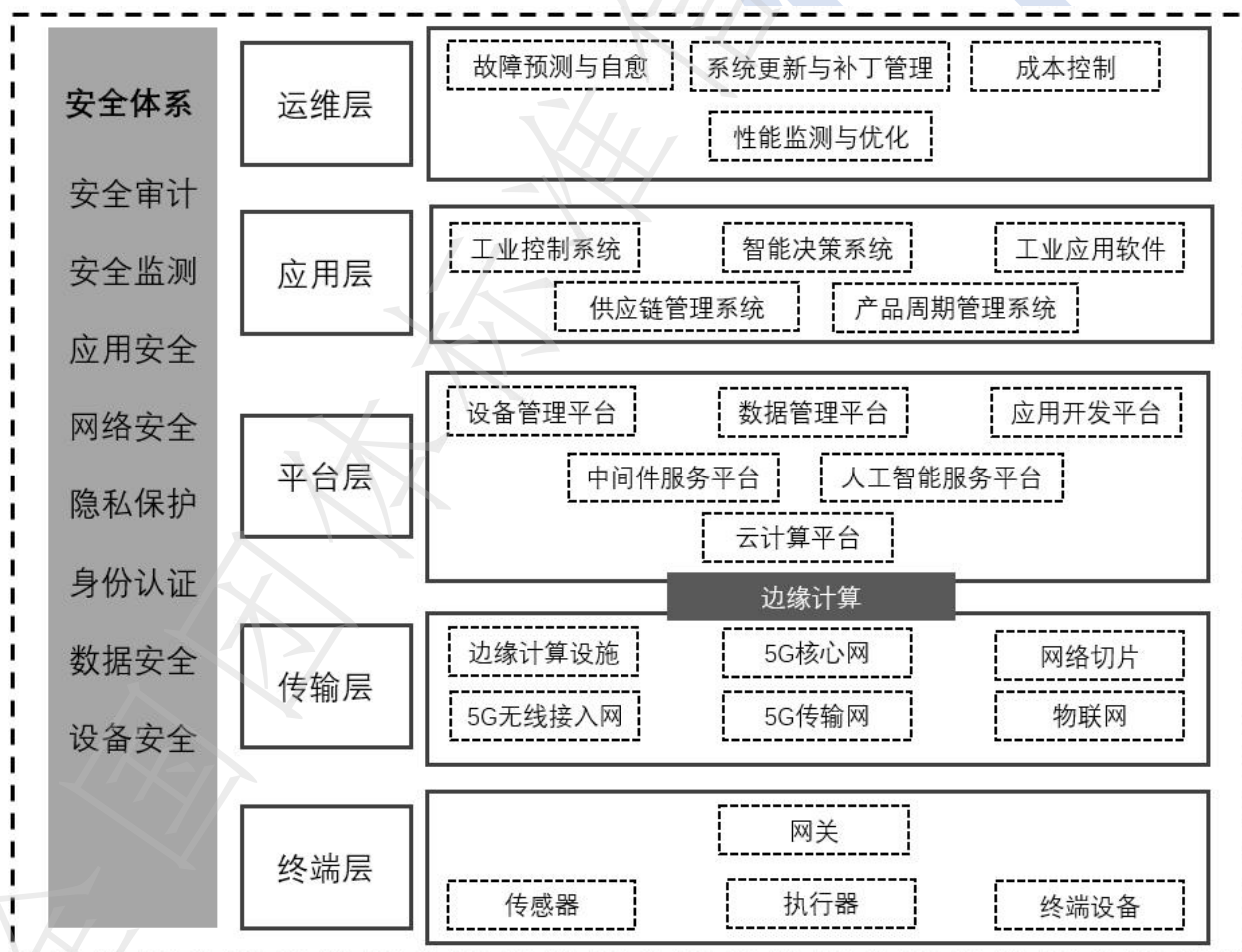


图1 5G+工业互联网总体架构

### 5.2 网络架构

5G+工业互联网采用融合组网架构, 由接入网、传输网、核心网构成, 应符合下列要求。

- 接入网: 由5G基站组成, 支持实现工业终端的无线接入。
- 传输网: 负责各网络功能单元之间的数据传输, 保障数据的高可靠、低时延传送。

- c) 核心网：提供会话管理、用户面控制、鉴权、计费等功能，实现数据处理与网络控制。

### 5.3 组网模式

根据业务需求、部署场景及资源可用性，5G+工业互联网的组网模式划分为三类，符合下列要求。

- a) 基于公网切片的 5G 虚拟专网：应支持通过在运营商公网中划分逻辑独立的网络切片，为企业用户提供定制化网络服务。企业可根据业务需求获取差异化的网络性能（例如时延、带宽、可靠性等）保障，实现不同业务间的逻辑隔离，满足多业务并发运行的需求。
- b) 基于用户面下沉的 5G 混合虚拟专网：在公网切片基础上，应支持将用户面功能（UPF）下沉部署至企业园区内部或邻近区域，实现关键业务数据的本地处理与存储。

注：此类部署增强了业务数据的安全性、实时性，适用于对数据敏感性高、低时延要求严格的工业场景。

- c) 5G 独立专网：该模式构建与公网物理与逻辑完全隔离的企业自有 5G 专网，网络资源应独占，应具备更高的可控性、安全性和定制化能力。

注：5G 独立专网适用于对数据主权、网络管理自主权及业务连续性要求高的工业企业。

### 5.4 关键网元

#### 5.4.1 基站

基站应能发送和接收无线信号，连接用户设备（UE）和核心网络，提供移动宽带服务，包括以下特性，应符合下列要求。

- a) 高带宽：支持高数据速率，满足工业应用的大数据传输需求。
- b) 低延迟：提供低延迟通信，适用于实时控制和监控。
- c) 高可靠性：设计满足工业环境下的高可靠性要求。

#### 5.4.2 核心网

5.4.2.1 用户面功能：应负责用户数据的转发和路由，并确保数据在用户设备和数据网络之间的高效传输。

5.4.2.2 控制面功能：应支持实现用户认证、会话管理和移动性管理，确保网络的稳定性和安全性。接入与移动管理功能（AMF）应支持接入管理、用户认证和移动性管理；会话管理功能（SMF）应支持会话管理和互联网协议（IP）地址分配。

5.4.2.3 功能描述应符合下列要求。

- a) 数据传输：确保数据在用户设备和数据网络之间的高效传输。
- b) 控制管理：实现用户认证、会话管理和移动性管理，确保网络的稳定性和安全性。

### 5.5 服务质量保障

5.5.1 服务质量保障机制应符合下列要求。

- a) 优先级管理：支持通过设置不同的数据流优先级，确保关键任务的数据优先传输。
- b) 带宽保障：支持为不同应用分配必要的带宽，确保在高流量情况下满足服务需求。
- c) 流量控制：采用流量整形和流量监管技术，防止网络拥塞，保障网络稳定性。

5.5.2 实现方法应符合下列要求。

- a) 差分服务：在网络中引入服务质量标记，对数据流进行分类和优先处理；
- b) 综合服务：支持通过资源预留协议实现端到端的服务质量保证。

## 6 网络规划与实施

### 6.1 网络规划设计

#### 6.1.1 规划目标

网络规划目标应符合下列要求：

- a) 构建满足工业场景差异化需求的端到端 5G 网络架构；
- b) 实现无线覆盖、容量、时延、切片、安全等能力的均衡设计；
- c) 提高网络部署效率，降低建设与运营成本；

- d) 支持未来业务演进和技术升级的可扩展性与灵活性。

### 6.1.2 设计流程

网络设计流程应符合下列要求。

- a) 需求调研与业务建模：深入了解工业企业的网络使用场景、业务流程、应用需求与关键性能指标。
- b) 网络架构设计：基于调研结果设计网络拓扑，包括接入层、传输层、核心层及边缘计算节点部署结构。
- c) 能力评估与容量规划：结合业务类型和并发规模，估算无线容量、传输带宽、连接数、计算资源等。
- d) 站址规划与频谱设计：确定基站选址、部署密度、覆盖范围及所需频段。
- e) 网络安全策略设计：制定网络访问控制、加密传输、终端安全、数据隐私保护等策略。
- f) 部署方案制定与实施计划：明确施工流程、阶段目标、资源调配及进度安排。

### 6.1.3 关键设计要点

网络规划的关键设计要点应符合下列要求。

- a) 分层架构设计：采用“端-边-云”分层架构，明确终端接入、边缘处理与核心云协同路径，确保架构简洁、层次清晰。
- b) 业务驱动配置：依据工业业务类别（例如远程控制、机器视觉、预测性维护等）分配不同的网络资源与服务等级，采用 QoS 与切片策略实现差异化保障。
- c) 网络切片设计：为关键工业业务（例如 URLLC、eMBB、mMTC）预设独立的网络切片，包括切片容量、资源隔离、调度策略等内容。
- d) 高可靠性与冗余设计：在设计阶段规划链路冗余、节点热备份及网络自愈能力，确保在关键场景下的连续运行能力。
- e) 边缘能力布局：基于数据实时性要求与处理复杂度，科学划分边缘计算与云中心计算职责，合理配置边缘节点资源。
- f) 可维护性与可监控性：设计阶段嵌入运维需求，规划可视化监控、性能告警、远程诊断等能力，降低后期维护成本。

## 6.2 无线接入网配置

### 6.2.1 概述

无线接入网是5G网络中的重要组成部分，负责连接用户终端和核心网，提供无线通信接入功能。在工业互联网应用场景下，无线接入网的配置与优化需要确保高可靠性、低时延和大带宽，满足工业环境对通信网络的严格要求。

### 6.2.2 技术要求

无线接入网配置应符合下列技术要求：

- a) 高可用性与冗余设计，确保工业应用中的无缝连接；
- b) 支持高速移动终端的无缝切换与漫游功能；
- c) 具备灵活的动态调度能力，确保实时数据流的高效传输。

### 6.2.3 核心配置

**6.2.3.1 基站配置：**应支持根据工业园区的规模、设备分布以及业务需求，合理布置基站的位置，确保无线覆盖的同时，提供高效的频谱利用与低干扰。

注：基站之间的协同工作，尤其是对 mMTC、URLLC 等不同服务场景的支持，将直接影响网络性能。

**6.2.3.2 频谱管理：**5G 网络应合理规划和管理频谱，以适应工业互联网应用对带宽和时延的不同需求。应支持利用 NR 技术，分配合适的频谱资源以保障系统高效运行。

**6.2.3.3 无线资源管理：**应支持通过高效的无线资源调度与动态管理，保证工业场景中不同业务的网络切片能获得必要的资源，支持基站的信号调度与干扰管理。

6.2.3.4 覆盖与容量优化：应支持利用小基站或宏基站的混合部署方式，提升无线网络的覆盖率和网络容量。

### 6.3 传输网配置

#### 6.3.1 技术要求

传输网配置应符合下列要求：

- a) 支持高吞吐量、大带宽的工业级传输要求；
- b) 具备低时延和高可靠性保障，满足工业自动化、实时数据传输等业务场景；
- c) 支持网络切片功能，提供多样化的传输服务。

#### 6.3.2 核心配置

6.3.2.1 传输链路设计：在工业环境中，传输网应支持高带宽和低时延的要求。应选择合适的光纤链路、微波链路和卫星链路等，实现高效的资源传输。尤其是在大规模工业园区、矿区等场景中，传输链路的设计应确保不同区域的连接质量。

6.3.2.2 冗余设计与高可用性：应采用环网、分布式传输与备份链路等方式，确保任何链路故障时网络能正常运作。

6.3.2.3 流量优化与负载均衡：应支持灵活的流量优化和负载均衡机制，合理分配流量，避免网络瓶颈，特别是在峰值时段和数据密集的工业应用中。应支持通过智能化流量调度技术，优化资源的利用效率。

### 6.4 核心网配置

#### 6.4.1 技术要求

核心网配置应符合下列要求：

- a) 支持高可扩展性，满足工业互联网设备的接入需求；
- b) 提供服务质量（QoS）保障，确保关键业务如自动化控制的低延迟需求；
- c) 支持大规模切片管理，灵活分配网络资源。

#### 6.4.2 核心配置

6.4.2.1 网络功能虚拟化（NFV）：应支持虚拟化技术，以便于在不同的工业应用中快速部署和灵活调整网络功能。例如，使用网络功能虚拟化（NFV）技术实现核心网的灵活配置，以应对动态变化的业务需求。

6.4.2.2 网络切片技术：基于 5G 的网络切片功能，应能为不同的工业互联网应用提供定制化的网络服务。支持通过逻辑上分隔的网络切片，保障每个行业或每个应用场景的独立性和资源优化。

6.4.2.3 安全性与隐私保护：应具备强大的网络安全与隐私保护功能。特别是在工业互联网的应用中，涉及到大量的工业数据，应能有效防止数据泄露、网络攻击和服务中断。

6.4.2.4 高效的会话管理与数据路由：应支持处理工业互联网中大量的数据流和用户接入请求，会话管理、数据路由和流量控制等功能，应具备高效性与实时性。

### 6.5 边缘计算节点部署

边缘计算节点部署应符合下列要求。

- a) 降低延迟：将计算资源部署在接近用户的位置，减少数据往返核心网络的延迟。
- b) 节省带宽：支持在边缘处理大量数据，减少传输至核心网络的数据量。
- c) 增强隐私：数据在本地处理，减少传输过程中的隐私泄露风险。

#### 6.5.1 技术要求

边缘计算节点部署应符合下列要求：

- a) 支持低时延的实时数据处理与分析，能为工业应用提供实时反馈；
- b) 具备强大的计算和存储能力，以支持复杂的工业计算任务；
- c) 与核心网、接入网紧密集成，确保边缘数据与中心数据的高效流动和共享。

## 6.5.2 核心配置

6.5.2.1 位置选择：应部署在离工业终端设备较近的位置，例如车间、生产线或工厂外围，以降低时延并减少对中心数据中心的依赖。

6.5.2.2 计算与存储能力：应具备强大的计算与存储能力，支持工业互联网中的大数据处理、实时分析及设备本地化决策。应配备适当的计算资源（例如 GPU、FPGA 等），以满足不同工业应用的需求。

6.5.2.3 与核心网协同：应与核心网高效协同，共同提供网络服务。数据处理应根据实时性要求选择在边缘节点处理或上传至核心网处理，形成合理的任务调度机制。

6.5.2.4 数据安全与隐私保护：应确保数据的安全性和隐私保护，特别是对工业生产中的敏感数据进行加密、存储和访问控制。

## 7 组网技术

### 7.1 概述

5G+工业互联网组网技术方案，旨在通过合理的无线、传输、核心网等技术设计，确保5G网络在工业互联网中的高效应用，为工业场景提供高性能、低延时和高可靠的网络服务。包括无线侧关键技术、传输层关键技术（例如传输协议）、核心网关键技术、物联网关键技术、网络切片技术、超可靠低时延技术。

### 7.2 无线侧关键技术

#### 7.2.1 技术要求

核心技术应符合下列要求：

- a) 无线网络提供连续、无盲区的覆盖能力，并在典型工业场景下支持每平方公里百万级连接密度 99.999%以上的可靠性，具备抗多径衰落和强电磁干扰的能力；
- b) 能高效支持大量物联网设备的连接，提升频谱利用率；
- c) 支持提供低时延和高数据速率，以满足工业自动化、远程控制等关键应用。

#### 7.2.2 关键技术内容

7.2.2.1 NR 技术：应支持提供更高的数据速率和更低的时延，支持频谱灵活性和更高效的信道编码技术，确保在复杂的工业环境中提供稳定的无线连接。

7.2.2.2 大规模 MIMO 技术：应支持通过使用更多天线单元提升无线链路的容量和覆盖能力。在工业场景中，支持多个 MIMO 天线单元部署，以有效提高频谱效率和抗干扰能力，满足高密度设备接入需求。

7.2.2.3 毫米波技术：应支持利用毫米波频段（24GHz 及以上）进行数据传输，提供极高的带宽。例如，大数据实时传输和高清视频监控等场景。

7.2.2.4 小基站（Small Cells）部署：在工业园区、车间等环境中，应通过小基站的部署，弥补大基站的覆盖盲区，提供精准的无线覆盖，降低干扰并优化信号质量。

### 7.3 核心网关键技术

#### 7.3.1 技术要求

核心技术应符合下列要求：

- a) 具备高可扩展性和灵活性，以适应工业互联网中的大规模设备和数据流动；
- b) 具备强大的安全性和隔离性，防止工业数据泄露和攻击；
- c) 支持多业务、多切片的高效管理和调度，保障各类工业应用的稳定运行。

#### 7.3.2 关键技术内容

7.3.2.1 网络功能虚拟化（NFV）：应采用网络功能虚拟化技术，能实现核心网功能的灵活配置与弹性扩展。支持核心网资源动态调整，以满足工业互联网中的大规模设备接入和流量需求。

7.3.2.2 分布式核心网架构：应采用分布式架构设计，以降低单点故障风险，能通过局部处理减少数据传输时延。

7.3.2.3 5G 核心网切片：应支持为不同工业场景提供专属的网络服务，满足不同业务对时延、带宽和可靠性的不同要求。

7.3.2.4 数据路由与负载均衡：应支持高效的数据路由和负载均衡，确保数据流的快速传输并避免网络拥堵。

## 7.4 物联网关键技术

### 7.4.1 技术要求

核心技术应符合下列要求：

- a) 支持海量设备的高效接入和管理；
- b) 提供低功耗、长时效的设备连接能力，确保大规模设备的稳定运行；
- c) 实现高效的数据处理与分析，提供实时反馈。

### 7.4.2 关键技术内容

7.4.2.1 大规模机器通信：应能同时连接数十亿的设备，满足工业物联网中设备数量庞大、连接频繁的需求。

7.4.2.2 低功耗广域网络：对于不需要频繁通信的工业传感器，低功耗广域网络（如 NB-IoT 窄带物联网）应提供高效的低功耗连接方案，延长设备的使用寿命。

7.4.2.3 边缘计算协同：应支持通过边缘计算节点处理本地数据，有效减轻核心网负担，加快数据处理速度，为工业互联网中的实时决策提供支持。

## 7.5 网络切片技术

### 7.5.1 概述

网络切片技术允许在同一物理网络上创建多个虚拟网络（切片），每个切片为特定应用提供专用的网络资源。包括切片类型、资源分配、管理与控制等实现方式。

- a) 切片类型：根据应用需求，切片分为 eMBB、URLLC 和 mMTC 等。
- b) 资源分配：为每个切片分配独立的计算、存储和网络资源，确保各切片之间互不干扰。
- c) 管理与控制：通过网络切片管理功能和网络切片选择功能进行切片的创建、配置和管理，确保资源的灵活调度和高效利用。

### 7.5.2 技术要求

核心技术应符合下列要求：

- a) 支持灵活的切片创建、配置和管理，满足不同业务需求；
- b) 保证各切片之间的资源独立性与隔离性；
- c) 提供高效的资源调度与监控机制。

### 7.5.3 关键技术内容

7.5.3.1 切片创建与管理：应支持根据业务需求创建多个虚拟网络，并为切片分配独立的资源（如带宽、时延等）。切片应能根据工业场景的不同要求进行优化配置，确保网络资源的最优分配。

7.5.3.2 切片调度与动态调整：网络切片管理平台应支持实时监控每个切片的运行状况，根据业务需求动态调整切片的资源分配。应能通过智能调度，确保高优先级应用（如工业自动化控制）获得足够的网络资源。

7.5.3.3 切片间隔离与安全性：各个网络切片之间的隔离应有效保证工业应用的安全性，防止网络攻击、数据泄露和业务冲突。

## 7.6 超可靠低延时通信技术

### 7.6.1 技术要求

核心技术应符合下列要求：

- a) 支持毫秒级的端到端时延，满足工业控制系统、自动化生产线等需求；
- b) 提供 99.999% 的网络可靠性，确保关键业务不受影响；

- c) 支持快速故障恢复和自动修复，提升网络的容错能力。

## 7.6.2 关键技术内容

7.6.2.1 端到端低时延链路：应支持通过优化传输协议、无线接入和核心网配置，提供毫秒级的端到端时延，适用于自动化控制、远程机器人操控等低时延敏感应用。

7.6.2.2 时延容忍机制：URLLC 技术应能降低时延，能通过多路径传输、链路冗余等机制提高可靠性，确保工业应用中的任务能在极短的时间内成功完成；支持通过冗余链路设计与自动切换机制，提高网络的可靠性，防止单点故障导致服务中断。

7.6.2.3 自动故障检测与修复：应支持通过网络自愈技术，实时监控网络状态并在出现故障时自动调整路径或启用备用链路，保证工业业务的连续性。

## 8 网络运维与管理要求

### 8.1 网络监控

#### 8.1.1 性能监控

性能监控应符合下列要求。

- a) 带宽监控：支持实时监控网络带宽的使用情况，识别带宽瓶颈，确保带宽资源的合理分配。
- b) 延迟监控：支持监控网络传输的延迟情况，确保延迟在可接受范围内，满足工业互联网对实时性的要求。
- c) 其他性能指标：支持监控丢包率、抖动、吞吐量等其他关键性能指标，全面掌握网络运行状态。

#### 8.1.2 故障监控

故障监控应符合下列要求。

- a) 故障检测：使用故障检测工具，实时监测网络设备和连接的状态，及时发现故障点。
- b) 报警机制：具备故障报警机制，一旦检测到故障，立即触发报警通知运维人员进行处理。
- c) 日志记录：能记录故障发生的时间、位置、原因等信息，为故障分析和排除提供依据。

### 8.2 运维管理平台

#### 8.2.1 管理功能

运维管理平台应符合下列要求。

- a) 网络配置：具备网络设备配置管理功能，支持批量配置和远程配置，简化网络设备的配置流程。
- b) 监控功能：具备网络性能和故障的监控功能，实时显示网络运行状态，帮助运维人员及时发现和处理问题。
- c) 故障处理：具备故障诊断和处理功能，支持故障自动定位和自动恢复，提高故障处理效率。

#### 8.2.2 用户界面设计

运维管理平台用户界面应符合下列要求。

- a) 界面简洁：设计简洁明了的用户界面，减少操作复杂度，提高操作效率。
- b) 信息可视化：支持通过图表、仪表盘等可视化工具，直观展示网络运行状态和性能指标。
- c) 自定义视图：支持用户自定义视图，根据不同需求展示不同的网络信息，满足多样化的运维需求。

### 8.3 网络优化

#### 8.3.1 优化策略

网络优化策略应符合下列要求。

- a) 动态调整：支持根据实时监控数据，动态调整网络带宽、路由等配置，确保网络在不同负载下的高效运行。
- b) 负载均衡：支持使用负载均衡技术，将网络流量合理分配到不同链路和设备，避免单点过载，提高网络整体性能。
- c) 拥塞控制：具备拥塞控制策略，预防和缓解网络拥塞，确保网络传输的稳定性和可靠性。

### 8.3.2 优化工具

网络优化工具应符合下列要求。

- a) 网络分析工具：支持使用网络分析工具，对网络流量进行深入分析，发现潜在的性能问题和优化点。
- b) 优化算法：支持采用先进的优化算法，根据网络状态自动生成优化策略，提高优化效率和效果。
- c) 自动化工具：支持使用自动化工具，实现网络优化的自动化，减少人工操作，提高优化效率和准确性。

## 9 安全要求

### 9.1 网络安全

#### 9.1.1 网络层安全

网络层安全应符合下列要求。

- a) 加密技术：支持采用先进的加密算法，例如高级加密标准（AES）、互联网协议安全（IPSec）等，确保网络传输数据的保密性。
- b) 认证技术：支持使用公钥基础设施（PKI）等技术，实现网络节点之间的身份认证，防止非法设备接入网络。

#### 9.1.2 传输层安全

传输层安全应符合下列要求。

- a) SSL/TLS 协议：支持采用 SSL 和 TLS 协议，确保数据在传输过程中的加密和完整性检查。
- b) VPN 技术：支持通过 VPN 技术，为远程访问提供安全的传输通道，保护数据免受中间人攻击。

#### 9.1.3 应用层安全

应用层安全应符合下列要求。

- a) 访问控制：支持采用基于角色的访问控制（RBAC）和基于属性的访问控制（ABAC）机制，确保只有经过授权的用户和设备能访问应用系统和数据。
- b) 数据保护：通过数据脱敏、加密存储等技术，保护应用层数据的机密性和完整性，防止数据泄露和篡改。

### 9.2 用户访问安全

#### 9.2.1 用户认证机制

用户认证机制应符合下列要求。

- a) 多因素认证（MFA）：支持结合密码、短信验证码、指纹、人脸识别等多种认证方式，增强用户身份验证的安全性。
- b) 单点登录（SSO）：支持通过单点登录技术，简化用户认证流程，提高用户体验，同时保证认证安全。

#### 9.2.2 设备认证机制

设备认证机制应符合下列要求。

- a) 设备指纹：支持通过采集设备的硬件特征、软件特征、网络特征等信息，生成唯一的设备指纹，用于设备身份验证。

- b) 设备信任链：具备设备信任链机制，确保设备从制造到部署的全生命周期内的安全性。

### 9.3 数据安全

#### 9.3.1 数据加密

数据加密应符合下列要求。

- a) 静态数据加密：支持对存储在数据库、文件系统中的静态数据进行加密，防止数据泄露。
- b) 动态数据加密：支持对传输过程中的动态数据进行加密，确保数据在传输过程中的安全。

#### 9.3.2 数据完整性保护

数据完整性保护应符合下列要求。

- a) 哈希技术：支持使用 SHA-256 等哈希算法，对数据进行哈希处理，生成唯一的哈希值，确保数据的完整性。
- b) 数字签名：支持通过数字签名技术，验证数据的来源和完整性，防止数据被篡改和伪造。

## 10 性能要求

### 10.1 带宽

5G+工业互联网网络的带宽符合下列要求：

- a) 应具备高带宽传输能力，以支持工业场景中大规模数据流的实时传输需求；
- b) 带宽应结合业务场景定制，一般应不低于 100 Mbps，关键场景可达 Gbps 级别。

注：高清视频监控、增强现实（AR）/虚拟现实（VR）协作、边缘计算数据上传等业务对上/下行带宽具有较高要求。

### 10.2 延迟

远程操控、工业自动化控制延迟标准宜符合下列要求：

- a) 普通工业数据通信： $\leq 100$  ms；
- b) 高实时性控制业务（URLLC 类应用）： $\leq 10$  ms。

### 10.3 连接数

5G+工业互联网应支持大规模设备同时在线与数据交互，保障工业场景中海量终端设备的并发接入能力。应支持万级以上并发连接能力，关键场景应具备更高扩展性。

### 10.4 可靠性

5G+工业互联网网络应具备极高的可靠性，确保关键业务连续运行不中断。网络可靠性目标宜为 99.999%（“五个9”），即年故障时间不超过 5 min。

## 11 性能评估

### 11.1 评估方法和工具

性能评估的方法和工具应符合下列要求：

- a) 制定详细的测试计划，包含测试目的、测试环境、测试工具、测试步骤等。执行前期测试、中期测试和后期测试，全面评估网络性能；
- b) 使用专业的网络测试工具，例如带宽测试、延迟测试、负载测试、监控等，进行全面的性能测试。

### 11.2 评估标准

性能评估的标准和指标应符合下列要求：

- a) 制定明确的评估标准，包含各项性能指标的目标值和允许范围。参考行业标准和最佳实践，确定合理的评估标准，评估标准可参考 GB/T 41870 和 GB/T 23031.1。

- b) 评估指标包括带宽利用率、延迟时间、并发连接数、故障率、可用时间等。支持通过定量分析和定性分析相结合，全面评估网络性能。

### 11.3 带宽评估

带宽指标可通过以下方法进行评估：

- a) 使用网络带宽测试工具对网络带宽进行周期性测试；
- b) 在多个时间段（高峰/非高峰时段）及多个网络节点进行测试，采集平均值与最大/最小值；
- c) 结合链路利用率、丢包率、吞吐量等辅助指标分析带宽使用效率；
- d) 所有测量结果记录并形成性能趋势图，用于后续评估。

### 11.4 时延评估

时延指标评估方法宜符合下列要求：

- a) 远程操控、工业自动化控制等延迟要求如下：
  - 1) 远程实时控制（例如远程操作）：端到端时延典型值 $\leq 20$  ms；
  - 2) 高精度闭环控制（例如运动控制、协同作业）：端到端时延典型值 $\leq 10$  ms；
- b) 普通工业数据通信： $\leq 100$  ms。

### 11.5 连接数评估

连接数评估宜符合下列要求：

- a) 利用负载测试工具模拟大规模设备并发接入；
- b) 分析连接建立成功率、连接维持时间、连接掉线率等关键指标；
- c) 测试过程中监测接入点设备（例如基站、接入网关）的资源使用情况（CPU、内存、连接池等）；
- d) 结合工业终端协议（例如 MQTT、CoAP、Modbus）进行实际应用仿真验证。

### 11.6 可靠性评估

可靠性指标评估宜符合下列要求：

- a) 监控平均无故障时间（MTBF）、平均修复时间（MTTR）、网络故障率（按月/年统计）等核心指标；
- b) 使用网络监控平台采集设备运行状态与故障日志；
- c) 建立网络故障事件数据库，分析故障类型、频次与根因，评估整体网络可靠性水平；
- d) 针对关键业务网络路径，开展冗余链路与自动切换机制测试。

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 5271.25 信息技术 词汇 第25部分：局域网
  - [2] GB/T 23031.1 工业互联网平台 应用实施指南 第1部分：总则
  - [3] GB/T 25069 信息安全技术 术语
  - [4] GB/T 41870 工业互联网 平台 术语
  - [5] YD/T 3627 5G 移动通信网 核心网总体技术要求
  - [6] 3GPP Release 15/16/17, 3rd Generation Partnership Project, 2019-2022
  - [7] 工业互联网参考架构 (IIRA, The Industrial Internet Reference Architecture, Version 1.10), Industry IoT Consortium, 2022.11
-