

中华人民共和国电力行业标准

DL/T XXXXX—XXXX

电力 5G 轻量化模组通信连接技术要求

Technical requirements for communication connection of 5G light module in power industry

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家能源局

发布

目 次

前言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 缩略语	5
5 功能要求	6
5.1 概述	6
5.2 网络接入能力要求	7
5.3 多模多频段要求	8
5.4 通信能力	9
5.5 切片功能	9
5.6 5G LAN 功能	9
5.7 IP 协议栈功能	9
5.8 移动性要求	9
5.9 SIM 功能要求	10
5.10 调试功能要求	10
5.11 路测功能要求	10
5.12 Open CPU 功能	10
5.13 管理功能	10
6 性能要求	11
6.1 射频性能	11
6.2 速率要求	12
6.3 同步授时要求	13
6.4 时延要求	13
6.5 通信可靠性要求	13
6.6 定位精度要求	13
6.7 功耗要求	13
6.8 模组可靠性要求	13
7 安全要求	14
7.1 可信验证和身份鉴别要求	14
7.2 访问控制要求	14
8 接口要求	14
8.1 电源供电接口	14
8.2 控制及状态接口	14
8.3 eSIM 接口	17

8.4	UART 接口	17
8.5	USB 接口	18
8.6	模拟接口	18
8.7	同步接口	18
8.8	天线接口	19
8.9	其它接口	19
9	软件要求	19
9.1	AT 命令要求	19
9.2	通用命令	19
9.3	呼叫控制命令	19
9.4	网络服务相关指令	20
9.5	终端控制和状态命令	20
9.6	终端错误命令	20
9.7	分组域命令	21
9.8	短信模式指令	21
9.9	网络协议要求	21
9.10	数据交互方式及应用数据通信要求	22
9.11	USB 虚拟设备驱动要求	22
9.12	网络状态查询命令	22
10	环境适应性要求	22
附录 A (资料性附录)	硬件尺寸要求	23

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这些专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业信息标准化技术委员会（DL/TC27）归口。

本文件起草单位：xxx

本文件主要起草人：xx

本标准首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条1号，100761）。

电力 5G 轻量化模组通信连接技术要求

1 范围

本文件规定了6GHz以下频段的电力5G轻量化通信模组的功能要求、性能要求、安全要求、接口要求、硬件和环境适应性要求等内容。

本文件适用于电力系统中5G轻量化通信模组的设计、研发、制造和应用。

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。

DL/T 2401.1-2021 北斗卫星导航系统电力通用接收机 第1部分:技术要求

YD/T 4721-2024 5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第二阶段）

YD/T 3922 LTE数字蜂窝移动通信网 终端设备技术要求（第四阶段）

3GPP TS 27.005 用于短消息服务(SMS)和小区广播服务(CBS)的设备(DTE-DCE)接口 Equipment (DTE-DCE) interface for Short Message Service (SMS) and Cell Broadcast Service (CBS)

3GPP TS 27.007 用于用户设备(UE)的AT命令集 AT command set for user equipment(UE)

3GPP TS 36.101 演进通用陆地无线接入系统：用户设备射频发射与接收（Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception)

3GPP TS 38.101-1 新空口；用户设备(UE)无线发射和接收；第一部分：频段范围1独立组网(NR; User equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: range 1 standalone)

3GPP TS 38.214(Relase 16) 新空口(NR);用于数据的物理层过程(NR; Physical layer procedures for data)

3GPP TS 38.306(Relase 16) 新空口 (NR)；用户设备无线接入能力 (NR; User Equipment (UE) radio access capabilities)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电力5G轻量化通信模组 power 5G redcap communication module

基于3GPP TS 38.306第4.2.21.1章节定义的RedCap特性的电力业务承载终端接入网络的关键5G通信部件，将基带芯片、射频、存储、电源管理等硬件进行封装，满足电力业务通信的速率、时延、可靠性要求和电力业务通信的链路安全，并适配电力终端的功耗需求。以下简称电力5G轻量化模组。

3.2

单向空口传输时延 one trip time over the radio interface

从基站PDCP协议层到模组PDCP协议层之间的传输时延（下行），或者从模组PDCP协议层到基站PDCP协议层之间的传输时延（上行）。

3.3

电力安全管理模块 power security management module

保障无线通道安全的软件模块，用于模组内部建立eSIM与管理平台的专属可信连接，由电力行业内第三方有资质的授权机构提供。

3.4

包可靠性 packet reliability

在5G系统通信服务接口处测量，在目标服务所需的时间限制内成功传送到给定系统实体的已发送数据包量除以已发送的数据包总数的百分比值。

[来源：3GPP TS 22.261, 3.1]

3.5

独立组网模式 SA Option2

该模式下，集成电力5G轻量化模组的终端通过NR空口接入直接连接到5G核心网的5G基站(gNB)。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

3GPP: 第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project)

5G LAN: 5G局域网 (5G Local Area Network)

5GS: 5G系统 (5G System)

ACM: 抽象控制模型 (Abstract Control Model)

ADC: 模数转换器 (Analog to Digital Converter)

AP: 应用处理器 (Application Processor)

APN: 接入点名称 (Access Point Name)

AT: 用来启动从终端设备发送到终端适配器的命令行 (Attention)

BT: 蓝牙 (BlueTooth)

CAG: 封闭接入组 (Closed Access Group)

CDC: 通信设备类 (Communication Device Class)

CEP: 圆形公算误差 (Circular Error Probable)

COS: 片内操作系统 (Chip Operating System)

CPU: 中央处理器 (Central Processing Unit)

DCE: 数据通信设备 (Data Communication Equipment)

DFP: 下行端口 (Downstream Facing Port)

DNN: 数据网络名称 (Data Network Name)

DTE: 数据终端设备 (Data Terminal Equipment)

ECM: 以太网控制模型 (Ethernet Networking Control Model)

eMBB: 增强型移动宽带 (Enhance Moblie BroadBoard)

EPS: 演进分组核心网 (Evolved Packet System)

eSIM: 嵌入式用户识别卡 (Embedded Subscriber Identity Module)

FDD: 频分双工复用 (Frequency Division Duplex)

gNodeB: 下一代基站, 即5G基站 (Next Generation Node B)

GPIO: 通用型输入输出 (General Purpose Input Output)

GSMA: 全球移动通信系统协会 (Global System for Mobile Communication Association)

I²C: 内置集成电路 (Inter-Integrated Circuit)

ID: 身份标识 (IDentity)

IMSI: 国际移动用户识别码 (International Mobile Subscriber Identification Number)

I/O: 输入/输出 (Input/Output)

I: 输入 (Input)

IP: 互联网协议 (Internet Protocol)

IPv4: 互联网协议第四版 (Internet Protocol Version 4)

IPv6: 互联网协议第六版 (Internet Protocol Version 6)

IRIG-B: B码 (Inter-Range Instrumentation Group-B)

LGA: 平面网格阵列封装 (Land Grid Array)

LTE: 长期演进 (Long Term Evolution)

MIMO: 多输入输出 (Multiple Input Multiple Output)

MISO: 主机输入/从机输出 (Master Input/Slave Output)

MOSI: 主机输出/从机输入 (Master Output/Slave Input)

MTBF: 平均无故障工作时间 (Mean Time Between Failure)

NAS: 非接入层 (Non Access Stratum)

NCM: 网络控制模型 (Network Control Model)

NR: 新空口 (New Radio)

NSSAI: 网络切片选择辅助信息 (Network Slice Selection Assistance Information)

PCIe: 高速可编程通信接口 (Programmable Communication Interface Express)

PDCP: 分组数据汇聚协议 (Packet Data Convergence Protocol)

PDP: 分组数据协议 (Packet Data Protocol)

PDU: 协议数据单元 (Protocol Data Unit)

PLMN: 公共陆地移动网 (Public Land Mobile Network)

PPS: 秒脉冲 (Pulse Per Second)

QAM: 正交振幅调制 (Quadrature Amplitude Modulation)

QoS: 服务质量 (Quality Of Service)

RAM: 随机访问存储器 (Random Access Memory)

RAN: 无线接入网 (Radio Access Network)

RedCap: 轻量化 (Reduced Capability)

RGMI: 精简千兆媒体独立接口 (Reduced Gigabit Media Independent Interface)

RRC: 无线资源控制 (Radio Resource Control)

RSRP: 参考信号接收功率 (Reference Signal Receiving Power)

SA: 独立组网 (StandAlone)

SDIO: 安全数字输入/输出接口 (Secure Digital Input and Output)

SDK: 软件开发工具包 (Software Development Kit)

SGMI: 串行吉比特多媒体独立接口 (Serial Gigabit Media Independent Interface)

SIM: 用户识别卡 (Subscriber Identity Module)

SINR: 信号与干扰加噪声比 (Signal to Interference plus Noise Ratio)

SLA: 服务等级协议 (Service Level Agreement)
 SPI: 串行外设接口 (Serial Peripheral Interface)
 SUL: 补充上行 (Supplementary UpLink)
 TAS: 发射天线选择 (Transmit Antenna Selection)
 TCP: 传输控制协议 (Transmission Control Protocol)
 TDD: 时分双工 (Time Division Duplexing)
 UART: 通用异步收发器 (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
 UDP: 用户数据报协议 (User Datagram Protocol)
 UE: 用户设备 (User Equipment)
 uRLLC: 超高可靠低时延通信 (Ultra Reliable Low Latency Communication)
 USB: 通用串行总线 (Universal Serial Bus)
 USIM: 全球用户识别卡 (Universal Subscriber Identity Module)
 WLAN: 无线局域网 (Wireless Local Area Network)

5 功能要求

5.1 概述

5.1.1 电力 5G 轻量化模组组成架构

电力5G轻量化模组主要包括射频前端模块、主功能模块、接口模块三个部分，组成架构如图1所示。

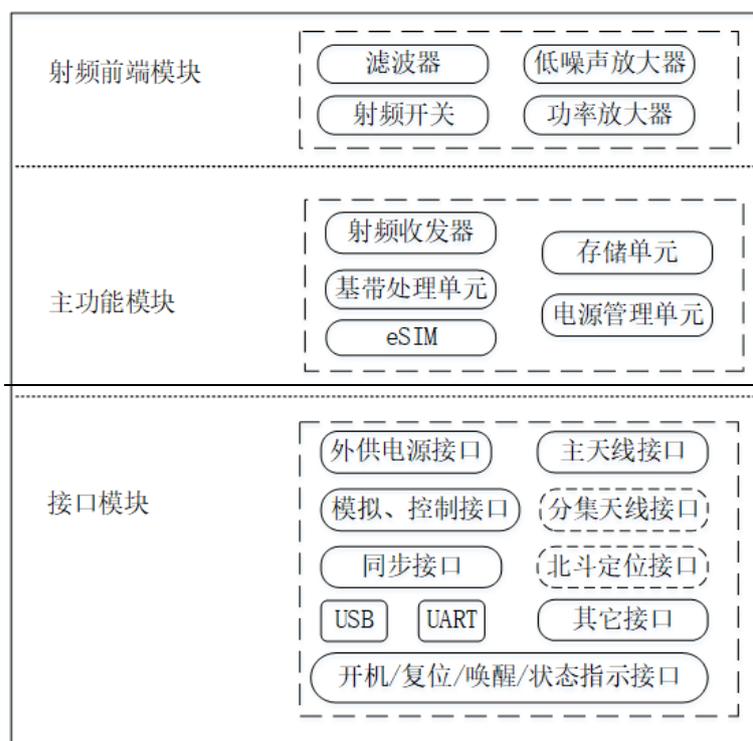


图1 电力 5G 轻量化模组组成架构图

5.1.2 电力 5G 轻量化模组功能模块描述

射频前端模块：主要包括滤波器（Filter）、射频开关(RF Switch)、低噪声放大器(LNA)和功率放大器(PA)等，主要完成射频收发信号的滤波，增益放大处理等。

Modem主功能模块：主要包括射频收发器（RFIC）、基带处理器（BBIC）和电源管理器（PMIC）等；RFIC完成射频信号和基带信号的收发转换，BBIC完成基带信号的调制解调，PMIC完成Modem系统的供电；

存储模块：主要包含DDR，FLASH等，分别用于Modem系统的掉电易失和非易失信息存储；

外设模块：包含eSIM，GNSS（GPS/北斗等）等，分别用于Modem用户身份识别，以及定位等；

外设接口：包括RGMII以太网口，USB接口，IRIG-B码授时接口，UART串口，蜂窝&GNSS天线接口，电源接口，复位/唤醒/状态指示接口等状态控制和指示接口等。

5.1.3 其它

电力5G模组组成部件宜满足电网自主安全可控要求。

5.2 网络接入能力要求

电力5G轻量化模组应支持5G SA和4G LTE。5G SA接入能力要求支持Option 2。

5.3 多模多频段要求

5.3.1 频段要求

电力5G轻量化模组使用的频段应符合国家无线电管理相关规定，其中应支持表1中所列的频段NR频段。

表1 NR 频段

工作频段	上行工作频段	下行工作频段	双工方式	要求
n1	1920MHz - 1965MHz	2110MHz - 2155MHz	FDD	必选
n5	824 MHz - 835 MHz	869 MHz-880 MHz	FDD	必选
n8	904 MHz - 915 MHz	949 MHz - 960 MHz	FDD	必选
n28	703 MHz - 733 MHz	758 MHz - 788 MHz	FDD	必选
n41	2515MHz - 2675MHz	2515MHz - 2675MHz	TDD	必选
n78	3300 MHz - 3600 MHz	3300 MHz - 3600 MHz	TDD	必选
n79	4800 MHz - 4960 MHz	4800 MHz - 4960 MHz	TDD	可选
n81	880MHz - 915MHz	-	SUL	见注 1
n83	703MHz - 748MHz	-	SUL	见注 1
n84	1920MHz - 1980MHz	-	SUL	见注 1
n89	824MHz - 849MHz	-	SUL	见注 1

注 1：对于支持 SUL 的电力 5G 轻量化模组，n81、n83、n84 和 n89 为必选。
注 2：上述频段为当前 5G NR 可用频段，若后续新增 5G 频段，工作频段在国内应符合国家无线电管理相关规定。

电力 5G 轻量化模组应支持的 LTE 频段，参见 YD/T 3922 规范。

5.3.2 SUL 频段要求

对于支持SUL的电力5G轻量化模组，应支持如下SUL工作频段组合，见表2：

表2 SUL 工作频段组合

工作频段组合	要求
SUL_n41-n83	必选
SUL_n78-n81	必选
SUL_n78-n84	必选
SUL_n78-n89	必选
SUL_n79-n83	可选
注：支持 SUL 工作频段组合的终端，应支持同时收发能力	

5.4 通信能力

5.4.1 网络连接检测能力

电力5G轻量化模组可支持模拟发包、心跳报文发送、SLA指标检测及上报的网络连接检测功能，功能默认关闭。模拟发包应用于SLA验收时使用。心跳报文用于连通性的检测。SLA指标包括如速率、时延、丢包率、误码率等。

5.4.2 网络通信能力

5.4.2.1 基本能力

表3 RedCap 模组基本能力

基本能力	要求	备注	
双工模式	必选	全双工FDD, TDD	
最大带宽	必选	支持20MHz最大带宽	
调制方式	必选	PDSCH、PUSCH最高支持256QAM	
12比特PDCP SN长度	必选	/	
18比特PDCP SN长度	可选	/	
12比特RLC-AM SN长度	必选	/	
18比特RLC-AM SN长度	可选	/	
支持8个DRB数	必选	支持8个DRB	
能力上报	必选	RedCap UE支持上报其能力：支持RedCap (FG28-1)	
下行关键参数	下行波形	必选	CP-OFDM
	下行子载波间隔	必选	TDD: 30kHz FDD: 15kHz
	下行MIMO传输	必选	2层传输
	DMRS信号	必选	Type 1
	高速移动场景附加DMRS	必选	1个附加DMRS, 2个附加DMRS
		可选	3个附加DMRS
	CSI-RS的CQI/RI/PMI/CRI测量	必选	FDD: 2、4端口 TDD: 2、4、8端口
		必选	类型A
PDSCH映射类型	可选	类型B	
PDSCH频域资源分配方法	必选	类型0（非连续分配），类型1（连续分配）	
上行关键参数	上行波形	必选	CP-OFDM, DFT-S-OFDM
	上行子载波间隔	必选	TDD: 30kHz; FDD: 15kHz

	上行MIMO传输	必选	1层传输
	DMRS信号	必选	Type 1, Type 2
	上行传输模式	必选	基于码本的传输模式
	PUSCH频域资源分配方法	必选	类型1（连续分配）
	PUSCH映射类型	必选	类型A, 类型B

5.4.2.2 驻留与接入控制

电力5G模组驻留与接入小区时，应支持如下驻留与接入控制功能：

表4 驻留与接入控制要求

驻留与接入控制	要求	备注
驻留于支持RedCap的小区	必选	应能在支持RedCap的小区读取MIB和系统消息，正常驻留。 RRC_IDLE和RRC_INACTIVE状态的RedCap UE选择支持RedCap的小区，并正常驻留于小区 RRC_IDLE和RRC_INACTIVE状态的RedCap UE 驻留在与CD-SSB相关联的小区上，并从初始DL-BWP（包括整个CORESET#0）接收寻呼和系统信息
2Rx cell barred设置的响应	必选	当支持RedCap的系统在小区的SIB1系统信息中对2Rx的Redcap UE进行cell barred设置（ <i>CellBarredRedCap2Rx-R17</i> ），即不允许2Rx的Redcap UE驻留时：2Rx的Redcap UE在该小区读取MIB和系统信息后，应不选择（重选）该小区
UE响应小区禁止驻留	必选	1、当小区对RedCap UE指示CellBarred（CellBarredRedCap1Rx、CellBarredRedCap2Rx均设置为barred）时，RedCap UE 视该小区禁止Redcap UE接入，应不选择或重选该小区 2、当SIB1中不广播IFRI（IntraFreqReselectionRedCap: allowed, notAllowed）时，RedCap UE 视该小区不支持RedCap UE接入，应不选择或重选该小区

5.4.2.3 识别与随机接入

电力5G模组进行随机接入过程时，应支持如下基于Msg1和Msg3的RedCap识别以及在共用初始BWP以及独立上下行初始BWP上工作的功能：

表5 识别与随机接入要求

识别与随机接入	要求	备注
4-Step RACH	必选	支持4-Step RACH过程
	必选	RedCap UE支持使用基站配置的Redcap Msg1 PRACH occasion（即FeatureCombination-r17中Redcap-r17设置为true的PRACH occasion）进行接入，与基站配合实现基于Redcap Msg1 PRACH occasion的RedCap UE识别
	必选	RedCap UE支持使用基站配置的Redcap Msg1 Preamble（即FeatureCombination-r17中Redcap-r17设置为true的Preamble）进行接入，与基站配合实现基于Redcap Msg1 Preamble的RedCap UE识别
	必选	RedCap UE支持按照基站Msg3（RedCap UE专用的CCCH或CCCH1的

		LCID) 配置进行接入, 与基站配合实现基于Msg3的RedCap UE识别
RedCap UE和non-RedCap UE共用初始BWP	必选	当基站SIB1只配置了RedCap UE和non-RedCap UE共用初始BWP时, RedCap UE能利用SIB1中(initialDownlinkBWP, initialUplinkBWP)配置的与non-RedCap UE (R15/16 UE, 如eMBB UE) 共用的初始下行BWP、初始上行BWP工作, 包括在初始BWP进行随机接入, 在CORESET#0上监听寻呼
RedCap UE支持独立下行初始BWP	必选	支持情形1: RedCap UE独立下行初始BWP中包括CD-SSB和整个CORESET#0; RedCap UE能利用系统配置的独立的下行初始BWP工作: - 在初始接入时在独立的下行初始BWP上接收Msg2、Msg4 - RRC_IDLE状态和RRC_INACTIVE 状态的RedCap UE支持在CORESET#0上监听寻呼和系统消息
	必选	支持情形2: RedCap UE独立下行初始BWP中不包括CD-SSB和CORESET#0; RedCap UE能利用系统配置的独立的下行初始BWP工作: - 在初始接入时在独立的下行初始BWP上接收Msg2、Msg4。 - RRC_IDLE状态 和RRC_INACTIVE状态的RedCap UE支持在CORESET#0上监听寻呼和系统消息。
RedCap UE支持独立上行初始BWP	必选	RedCap UE能利用系统配置的独立的初始BWP工作; RRC_IDLE和RRC_INACTIVE状态的RedCap UE接入时, 支持在RedCap独立上行初始BWP上执行随机接入
去使能common PUCCH传输的跳频	必选	RRC_IDLE和RRC_INACTIVE状态的RedCap UE初始接入时, 在独立上行初始BWP上, 支持单PRB的common PUCCH发射(即去使能common PUCCH的时隙内跳频), 在PUCCH上发送Msg4的HARQ-ACK信息 支持通过RRC层配置PUCCH-ConfigCommon 中的intra-SlotFH-r17和additionalPRBoffset去使能common PUCCH的时隙内跳频
独立common PUCCH资源配置	必选	支持通过配置pucch-ResourceCommonRedCap-r17, 实现RedCap独立的common PUCCH资源

5.4.2.4 BWP 相关要求

电力5G模组应支持如下BWP相关功能:

表6 BWP 相关要求

BWP特性	要求	备注
上行/下行UE专用BWP (下行UE专用BWP包含CD-SSB)	必选	对于允许RedCap UE访问的小区, 支持通过RRC专用信令在NR载波上为某个RRC_CONNECTED状态的RedCap UE配置一个不超过RedCap UE最大带宽的上行专用BWP、下行专用BWP (非初始BWP), 其中下行UE专用BWP包含CD-SSB和CORESET 0/SIB1 RedCap UE能在专用的上行BWP、下行BWP进行数据传输
下行专用BWP支持NCD-SSB	必选	RedCap UE的下行专用激活BWP上不包括CD-SSB时, 支持非小区定义SSB (NCD-SSB), 且不包括CORESET 0/SIB1 RRC_CONNECTED状态的RedCap UE基于NCD-SSB进行射频链路监测 (RLM)、RRM测量和随机接入 (RA) 资源选择等操作 对NCD-SSB: 系统可以配置absoluteFrequencySSB、ssb-periodicity和ssb-TimeOffset; 而PCI、ssb-PBCH-BlockPower, ssb-PositionsInBurst

		则与服务小区的CD-SSB相同
独立初始上行/下行BWP	必选	当独立初始上行、下行BWP为BWP#0 configuration without dedicated configuration (即3GPP TS 38.331 B.2定义的BWP configuration option 1), 下行BWP内包括CD-SSB, UE应支持在连接态下使用该BWP进行数据传输 当独立初始上行、下行BWP为BWP#0 configuration with dedicated configuration (即3GPP TS 38.331 B.2定义的option 2), 下行BWP内包括NCD-SSB或CD-SSB, UE应支持在连接态下使用该BWP进行数据传输

5.4.2.5 移动性要求

5.4.2.5.1 空闲态和 RRC_INACTIVE 状态下的移动性要求

电力5G模组在空闲态和RRC_INACTIVE状态下, 应支持如下移动性功能:

- a) LTE 和 NR SA 之间的双向小区重选;
- b) NR SA 和 NR SA 之间的双向小区重选。

5.4.2.5.2 连接态下的移动性要求

电力5G模组在连接态下, 应支持如下移动性功能:

- a) LTE 和 NR SA 之间的双向小区切换和重定向;
- b) NR SA 和 NR SA 之间的双向小区切换和重定向。

5.4.2.6 SUL 功能

电力 5G 轻量化模组宜支持 SUL 功能。

5.4.2.7 发射功率

电力 5G 轻量化模组应支持上行功率等级 3 的最大输出功率, 对于 TDD 频段, 应支持上行功率等级 2 的最大输出功率。其中, 上行功率等级 3 和上行功率等级 2 的最大发射功率数值参见 6.1 节。

5.5 切片功能

电力5G轻量化模组应同时支持基于IP三元组和DNN建立切片, 应支持不低于2个电力业务切片的并发; 应支持自主切片标识定义和选择策略, 宜支持通过AT命令和管理平台下发控制命令进行切片配置。

5.6 5G LAN 功能

电力5G轻量化模组应支持基于层三IP类型和层二以太网类型的5G LAN PDU会话管理过程; 应支持根据URSP规则, 携带DNN、S-NSSAI信息, 发起5G LAN PDU会话。

5.7 IP 协议栈功能

电力5G轻量化模组应支持IPv4单栈、IPv6单栈以及IPv4/v6双栈; 在同时获得IPv4和IPv6地址时, 优先通过IPv6地址进行访问, 同时兼容IPv4和IPv6的业务应用。

5.8 eSIM 功能要求

电力5G轻量化模组应支持eSIM功能, 具体接口定义参见8.3节。eSIM应支持自主可控的芯片和电力定制COS, 应支持空中写卡功能, 支持参数预置、profile的下载、信息查询以及掉电保护等功能。

5.9 调试功能要求

电力5G轻量化模组宜支持记录并存储调试日志的功能，并宜支持开启或关闭该功能。电力5G轻量化模组应支持从UART或USB等接口输出调试日志信息，调试日志信息应包括硬件状态、软件状态、通信功能状态等，并可支持整机通过无线空口远程输出调试日志。

5.10 Open CPU 功能

电力5G轻量化模组应支持Open CPU方案，开放存储和处理资源，存储资源应支持电力固定分区，宜支持免授权自主可控开放生态操作系统，操作系统应支持组件化服务框架和多语言开发框架，具备开放统一接口、完善的开发工具和社区支持；存储资源大小宜根据电力部署需求预留；电力5G轻量化模组应支持集成SDK，支持基于电力5G轻量化模组开发外围器件驱动程序、安全组件和应用程序，支持与电力管理平台的对接。

5.11 TAS 功能要求

电力5G轻量化模组应支持TAS功能，支持对主集和分集接收天线进行实时监测，并根据监测结果进行主集天线和分集天线之间的切换。

5.12 CAG 功能要求

电力5G轻量化模组应支持CAG功能，包括PLMN自动和手动选网特性。当电力5G轻量化模组处于PLMN自动选网模式下时，应根据网络下发的CAG信息列表，执行PLMN自动选网。当电力5G轻量化模组处于手动网络选择模式下时，应将PLMN标识号和CAG标识号列表呈现给用户，用户可以从PLMN标识号和CAG标识号列表中手动选择接入到PLMN下的CAG小区。

5.13 uRLLC 功能要求

5.13.1 低码率 MCS 表格和 CQI 表格

为提高业务的传输可靠性，支持 uRLLC 特性的电力 5G 轻量化模组对低码率 MCS 表格和 CQI 表格的具体要求见表 7。

表7 低码率 MCS 和 CQI 表格

低码率MCS/CQI表格	要求	备注
高可靠CQI表格	必选	参见3GPP TS 38.214表5.2.2.1-4
PDSCH传输采用低码率MCS表格	必选	参见3GPP TS 38.214表5.1.3.1-3
PUSCH传输采用低码率MCS表格 (采用CP-OFDM波形)	必选	参见3GPP TS 38.214表5.1.3.1-3
PUSCH传输采用低码率MCS表格 (采用DFT-S-OFDM波形)	必选	参见3GPP TS 38.214表6.1.4.1-2

5.13.2 上行免调度传输

支持uRLLC特性的电力5G轻量化模组应支持在基站激活的单个配置授权类型1或配置授权类型2的资源上传上行数据。

5.13.3 PDCCH 高聚合等级

支持uRLLC特性的电力5G轻量化模组应支持PDCCH控制信道聚合等级16。

5.13.4 上/下行物理共享信道时隙级重复发送

当网络侧在连续时隙上分配相同时域资源时，支持 uRLLC 特性的电力 5G 轻量化模组应支持在上行或下行物理共享信道上数据的重复发送或接收。

5.14 管理功能

5.14.1 标识管理

电力5G轻量化模组标识由15位数字组成，前8位由GSMA或电力行业第三方有资质的授权机构分配，第9位开始的6位数字用于区分模组的生产序列号，最后1位为验证码。用户卡标识由行业标识、国家码、发行方ID、发行方信息、卡序列编号和校验位组成，共32位数字，其中前2位为电力行业标识，第3位到第5位为国家码标识，第6位到第8位为一级发行方ID，用于区分一个国家中不同的发行方，第9位到第18位为发行方信息，第19位到第30位为卡序列编号，第31位到第32位为校验码。电力5G轻量化模组标识、用户卡标识应能够通过相关平台进行管理。

5.14.2 参数预置管理

电力5G轻量化模组应支持预置接入4G/5G蜂窝网络所需参数，例如APN/DNN等。如果发生预置参数与网络侧/业务应用下发参数不一致，以网络侧/业务应用下发参数为准。

5.14.3 软件下载与升级管理

电力5G轻量化模组应支持通过本地升级和远程升级的方式进行自身软件下载与升级，并支持对下载软件的合法性校验，其中远程升级可基于HTTP/HTTPS等北向接口协议。eSIM需支持应用升级和文件升级。如果发生升级失败，电力5G轻量化模组应支持正常工作并重新发起升级的能力，电力5G轻量化模组可支持回退能力，即能够退回到升级前版本，并正常工作。

5.14.4 状态和网络管理

电力5G轻量化模组应具备状态和网络信息收集功能，并能够通过整机上报远程管理平台。电力5G轻量化模组的状态信息包括：硬件状态、软件状态和通信状态等，其中通信状态应包括电力5G轻量化模组所在区域内各个运营商的服务频段的网络信息，如小区ID、工作频段、信号质量（如RSRP、SINR）和时间信息等，宜包括电力5G轻量化模组的位置信息。电力5G轻量化模组应配合远程管理平台实现网络管理，网络管理宜包括：配置管理、安全管理、故障管理和性能管理等。

6 性能要求

6.1 射频性能

6.1.1 5G NR 关键性能指标

5G NR射频指标应满足3GPP TS 38.101-1系列规范要求，其中关键的灵敏度和发射功率指标如表8。对于SUL频段，发射功率指标要求为应支持功率等级3，最大发射功率范围为 23 ± 2 dBm；支持SUL组合频段的电力5G模组的灵敏度和发射功率指标如表9 表8。

表8 5G NR 轻量化模组关键射频指标

频段	功率等级 3 的最大发射功率 (dBm)	功率等级 2 的最大发射功率 (dBm)	双天线接收灵敏度 (dBm)@子载波间隔 (kHz)@带宽 (MHz)
n1	23 ± 2	$26+2/-3$	< -93.8 dBm@15kHz@20MHz
n5	23 ± 2	N/A	< -94.8 dBm@15kHz@10MHz

n8	23±2	N/A	<-93.8dBm@15kHz@10MHz
n28	23+2/-2.5	N/A	<-90.8dBm@15kHz@20MHz
n41	23±2	26+2/-3	<-94.9dBm@30kHz@20MHz
n78	23+2/-3	26+2/-3	<-95.9dBm@30kHz@20MHz
n79	23+2/-3	26+2/-3	<-95.9dBm@30kHz@20MHz

表9 支持 SUL 组合频段的电力 5G 模组的关键射频指标

组合频段		功率等级 3 的最大发射功率 (dBm)	功率等级 2 的最大发射功率 (dBm)	双天线接收灵敏度 (dBm)@子载波间隔 (kHz)@带宽 (MHz)
SUL_n41-n83	n41	23±2	26+2/-3	<-94.9dBm@30kHz@20MHz
	n83	23+2/-2.5	N/A	N/A
SUL_n78-n81	n78	23+2/-3	26+2/-3	<-84.8dBm@30kHz@10MHz
	n81	23±2	N/A	N/A
SUL_n78-n84	n78	23+2/-3	26+2/-3	<-95.4dBm@30kHz@20MHz
	n84	23±2	26+2/-3	N/A
SUL_n78-n89	n78	23+2/-3	26+2/-3	<-85.6dBm@30kHz@10MHz
	n89	23±2	N/A	N/A
SUL_n79-n83	n79	23+2/-3	26+2/-3	<-95.4dBm@30kHz@20MHz
	n83	23+2/-2.5	N/A	N/A

6.1.2 4G LTE 关键性能指标

电力5G轻量化通信模组支持的4G LTE频段对应的射频指标应满足3GPP TS 36.101系列规范要求，其中关键的灵敏度和发射功率指标如表10。

表10 表 7 4G LTE 关键射频指标

频段	传导发射功率 (dBm)	双天线接收灵敏度 (dBm)@带宽 (MHz)
FDD-LTE B1	23±2	<-94dBm@20MHz
FDD-LTE B3	23±2	<-91dBm@20MHz
FDD-LTE B5	23±2	<-95dBm@10MHz
FDD-LTE B8	23±2	<-94dBm@10MHz
FDD-LTE B34	23±2	<-95.2dBm@15MHz
TDD-LTE B38	23±2	<-94dBm@20MHz
TDD-LTE B39	23±2	<-94dBm@20MHz
TDD-LTE B40	23±2	<-94dBm@20MHz
TDD-LTE B41	23±2	<-92dBm@20MHz

6.2 速率要求

不考虑自干扰，在20MHz NR带宽下，5ms单周期帧结构下，时隙上下行配比为DDDDDDSUU，特殊时隙配比为6:4:4；2.5ms双周期帧结构下，时隙上下行配比为DDDSUDDSUU，特殊时隙配比为10:2:2；电力5G轻量化通信模组上下行峰值速率要求见表11。

表11 电力 5G 轻量化模组峰值速率要求

双工模式	TDD 帧结构	调制模式	天线配置	峰值速率要求
FDD	N/A	上行：64QAM 下行：64QAM	1T2R	上行：≥90Mbps 下行：≥170Mbps
TDD	2.5ms 双周期	上行：64QAM 下行：64QAM	1T2R	上行：≥26Mbps 下行：≥105Mbps
TDD	5ms 单周期	上行：64QAM 下行：64QAM	1T2R	上行：≥17Mbps 下行：≥122Mbps
FDD	N/A	上行：256QAM 下行：256QAM	1T2R	上行：≥120Mbps 下行：≥226Mbps
TDD	2.5ms 双周期	上行：256QAM 下行：256QAM	1T2R	上行：≥35Mbps 下行：≥140Mbps
TDD	5ms 单周期	上行：256QAM 下行：256QAM	1T2R	上行：≥22Mbps 下行：≥162Mbps

6.3 同步授时要求

电力5G轻量化模组应支持基于3GPP R16的SIB9高精度授时功能，并应支持对外提供时钟接口，且输出的授时的偏差应优于1 μ s。

6.4 时延要求

电力5G轻量化模组应配合网络层支持单向空口传输时延最大不超过5ms。支持uRLLC功能的电力5G轻量化模组应配合网络层支持单向空口传输时延最大不超过2ms，时延抖动不大于0.5ms。

6.5 包可靠性要求

电力5G轻量化模组应配合网络层支持优于99.9%的包可靠性。支持uRLLC功能的电力5G轻量化模组应配合网络层支持优于99.99%的包可靠性。

注1：为平衡性能和成本，对于更高可靠性要求的电力业务场景，可采用其它方式，如以主备模组双发选收的方式保障包可靠性。

6.6 定位精度要求

6.6.1 北斗定位精度要求

对于支持GNSS定位功能的电力5G轻量化模组，应采用北斗定位。在室外无遮挡环境下，配合网络层，定位精度应满足DL/T 2401.1-2021 7.2.1节要求。

6.6.2 5G网络定位精度要求

电力5G轻量化模组应支持网络定位功能，室外网络定位应配合网络层支持80%的概率满足水平定位精度优于50米，垂直定位精度优于5米。

6.7 功耗要求

针对电力5G轻量化模组，待机功耗宜≤1W，最大不大于2W；通信平均功耗宜≤3W；在上行速率17Mbps，下行122Mbps峰值速率下，最高不大于3W。

6.8 模组可靠性要求

电力5G轻量化模组本体平均无故障工作时间(MTBF)不应小于40000h (+25℃), 使用寿命应不低于5年。

6.9 网络兼容性要求

电力5G轻量化模组应具备良好的通信协议兼容性, 支持通信协议功能在线升级, 在电力5G轻量化模组或网络升级后能够保持正常通信功能。

7 安全要求

7.1 可信验证和身份鉴别要求

电力5G轻量化模组应集成电力安全管理模块并支持eSIM功能, eSIM应支持国密SM1/SM2/SM3/SM4算法, 电力安全管理模块应支持对模组重要程序及关键参数、敏感资产等进行安全存储和可信验证, 在检测到其可信性受到破坏后进行报警, 并将验证结果形成审计记录发送至相关管理平台。电力安全管理模块实现不可更改的唯一身份标识管理, 并应满足以下要求:

- a) 关联业务终端身份信息;
- b) 实现和平台侧的身份认证;
- c) 电力网络鉴权认证

模组应依靠预制电力统一签发凭证信息的安全芯片, 完成接入电力网络时与电力鉴权服务器通信鉴权认证。

7.2 访问控制要求

电力安全管理模块对业务终端网络访问进行安全控制, 宜满足以下要求:

- a) 在通信模组上根据访问控制策略设置访问控制规则, 默认情况下除允许通信的接口外, 其它受控接口拒绝所有通信;
- b) 删除无效访问控制规则, 优化访问控制列表, 并保证访问控制规则数量最小化;
- c) 对源地址、目的地址、源端口、目的端口和协议等进行检查, 以允许/拒绝数据包进出。

7.3 安全启动功能要求

电力5G轻量化模组应支持基于国密算法的安全启动功能, 防止固件和应用程序被非法篡改, 保障固件的完整性和合法性。

7.4 安全升级功能要求

电力5G轻量化模组应支持基于国密算法的安全升级功能, 防止固件和应用程序被非法替换, 保障待升级固件完整性和合法性。

7.5 可信执行环境要求

提供OpenCPU能力的电力5G轻量化模组应支持基于硬件隔离机制的可信执行环境, 提供国密加解密算法、密钥管理、安全存储功能, 支持可信应用安全运行。

7.6 安全通信功能要求

电力5G轻量化模组不应支持2G/3G通信制式, 防止伪基站攻击和降级攻击; 支持终端设备与网络设备的加密连接, 禁用空加密算法, 防止通信信息泄露。

7.7 漏洞修补要求

电力5G轻量化模组应具备通过补丁或软件升级的方式消除重要安全漏洞的能力；

实际使用中的模组，其固件和应用软件不存在权威漏洞平台6个月前公布且未经处置的高危及以上的安全漏洞；处置包括消除漏洞、制定减缓措施等方式。

7.8 漏洞防利用能力要求

电力5G轻量化模组固件和应用软件应支持常用的漏洞防利用能力，如地址随机化、栈保护，基于MMU/MPU的内存访问控制（堆栈不可执行、代码段不可写），防止已知或未知漏洞被利用。

8 接口要求

8.1 电源供电接口

8.1.1 直流电源接口

直流电源接口描述及要求见表 12 。

表12 直流电源接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特性	要求
电源接口	VBAT	外接直流电源	I	必选

存在以下电压类型：

- A类电压：截止电压3.4V，最高电压4.3V，典型电压3.8V；
- B类电压：截止电压3.2V，最高电压4.4V，典型电压3.3V；
- C类电压：截止电压3.8V，最高电压4.2V，典型电压4.0V。

。

8.1.2 外部供电输出接口

对于采用 LGA/LCC-LGA 封装方式，外部供电输出接口描述及要求见表 13 。

表13 外部供电输出接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特性	要求
电源接口	VDD_EXT	VTYP =1.8VI/O 外部上拉电源	P0	必选
	VREG_1P3	用于给 WIFI 模组供电	P0	可选
	VREG_1P9	用于给 WIFI 模组供电	P0	可选
	VREG_0P9	用于给 WIFI 模组供电	P0	可选
	L10E_3P1	PM7250B USB PD-PHY 和 USB 开关供电	P0	可选
	VIO_OUT	仅用于 PM7250B I/O 供电	P0	可选

8.2 控制及状态接口

8.2.1 电源开关及状态指示接口

电源开关及状态指示接口描述见表14 。

表14 电源开关及状态指示接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特性	要求
控制及状态接口	FORCE_BOOT	强制下载，用于防止模组变砖	I	必选
	PWRKEY	电源开关，用于模组上电/下电	I	必选
	STATUS	模组当前工作状态指示：低电平：关机；高电平：上电且模组系统工作正常。	0	可选
	FLIGHTMODE	模组飞行模式控制：低电平：飞行模式 高电平：正常模式	I	必选
	NETLIGHT	模组网络状态指示	0	必选

8.2.2 复位接口

电力5G轻量化模组复位接口RESET_N为必选的输入接口，属于控制及状态接口，用于模组复位，低电平使能。描述见表15。

表15 复位接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特性	要求
控制及状态接口	RESET_N	用于模组复位，低电平使能。	I	必选

8.2.3 唤醒接口

电力5G轻量化模组唤醒接口描述见表16，该接口为低电平使能驱动。

表16 电力5G轻量化模组唤醒接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特性	要求
控制及状态接口	WAKEUP_IN	用于外部设备唤醒模组	I	必选
	WAKEUP_OUT	用于模组唤醒外部设备	0	必选
	ACCEL_INT_N	用于加速度传感器唤醒模组	I	可选
	ALSP_INT_N	用于光感传感器唤醒模组	I	可选
	MAG_INT_N	用于地磁传感器唤醒模组	I	可选
	GYRO_INT_N	用于陀螺仪传感器唤醒模组	I	可选

8.2.4 控制接口

电力5G轻量化模组可提供控制接口。若电力5G轻量化模组支持控制接口功能，则应支持表17中各接口。

表17 控制接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特	要求
------	------	------	-----	----

			性	
控制接口	WLAN_PWR_EN2	WLAN 电源使能	0	可选
	WLAN_PWR_EN1	WLAN 电源使能	0	可选
	WLAN_EN	用于 WLAN 使能	0	可选
	WLAN_SLP_CLK	外部 WLAN 提供睡眠时钟	0	可选
	BT_EN	外部 BT 功能使能控制	0	可选
	CDC_RESET	外部 Codec 复位信号	0	可选
	DR_SYNC	用于 1PPS 时间或 IRIB-B 码	0	必选
	TDD RX 时间指示	高电平脉冲宽度用来精确指示目前模组处于 RX 状态	0	可选
	TDD TX 时间指示	高电平脉冲宽度用来精确指示目前模组处于 TX 状态	0	可选

8.3 SIM 接口

SIM接口包括7816接口和SPI接口，支持数据传输与控制功能。7816接口应支持4线USIM接口，且应支持230Kbps传输速率。SPI接口应支持4线SPI接口，且应支持Mbps级的数据传输速率。电力5G轻量化模组SIM接口描述见表18。

表18 SIM 接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特性	要求
7816 接口	USIM_DET	USIM DETECT 信号	I	可选
	USIM_RST	USIM RESET 信号	0	必选
	USIM_CLK	USIM CLK 信号	0	必选
	USIM_DATA	USIM DATA 信号	I/O	必选
	USIM_VDD	USIM 供电输出	0	必选
SPI 接口	SPI_CLK	SPI CLOCK 信号	0	必选
	SPI_CS	SPI RESET 信号	0	必选
	SPI_MOSI	SPI MOSI 信号	0	必选
	SPI_MISO	SPI MISO 信号	I	必选

8.4 UART 接口

UART接口应支持网络管理功能，宜支持业务传输。电力5G轻量化模组应支持2线UART接口，可选支持4线UART接口。模组的UART应支持8bit数据传输，可支持5/6/7bit长度的数据传输。模组的UART应支持9600bps到115200bps之间各种常见波特率，可支持自适应波特率。UART接口说明见表19。

表19 UART 接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特性	要求
数据通信	UART_RXD	接收数据	I	必选

接口	UART_TXD	发送数据	0	必选
	UART_RTS	准备发送数据	I	可选
	UART_CTS	数据收到, 可清除发送数据	0	可选

8.5 USB 接口

USB接口应支持业务传输, 协议调试及网络管理功能, 接口描述见表20。电力5G 轻量化模组的USB接口应不低于USB2.0。

表20 USB 接口

接口类型	接口名称	接口说明	接口特性	要求
USB	USB_VBUS	USB 插入检测信号,	I	必选
		有效电压范围: 4.5V - 5.25V		
	USB_DN	USB 高速差分信号负极	I/O	
	USB_DP	USB 高速差分信号正极	I/O	
	USB_ID	USB 的 ID 检测信号	I	可选
	USB_VCONN	DFP 模式下驱动有源 type-c 线时需要的电源输入引脚	I	可选
	USB_SS_SWITCH	USB Type C 开关控制信号	0	
	USB_SS_CC1	USB Type C 连接器通道 1 配置引脚	I/O	
USB_SS_CC2	USB Type C 连接器通道 2 配置引脚	I/O		

8.6 模拟接口

对于LGA/LCC+LGA封装模式的模组, 模拟输入接口(ADC接口)为可选接口, 负责AD转换。

8.7 同步接口

对于有授时需求的电力5G轻量化模组, 应支持通过GPIO口输出至少以下一种授时信息:

- a) IRIG-B 码(优先);
- b) 1PPS。

8.8 天线接口

电力5G轻量化模组的天线能力应支持1T2R。

8.9 其它接口

对于LGA/LCC+LGA封装模式的电力5G轻量化模组还应支持SGMII或RGMII接口或PCIe接口, 可支持GPIO接口, I²C接口, SDIO接口, SPI接口等。

9 软件要求

9.1 AT 命令要求

9.1.1 3GPP 协议的 AT 命令

AT命令概述、类型及语法应遵循3GPP协议：

- a) TS 27.007 《AT command set for user equipment(UE)》；
- b) TS 27.005 《Equipment (DTE-DCE) interface for Short Message Service (SMS) and Cell Broadcast Service (CBS)》。

9.1.2 电力协议的 AT 命令

电力5G轻量化模组AT指令集应根据电力业务进行扩充，符合电力要求。

9.2 通用命令

通用命令描述见表21 。

表21 通用命令

AT 命令	用途	要求
CGMI	获取厂商识别码	必选
CGMM	获取型号识别码	必选
CGMR	获取版本识别码	必选
CGSN	获取 IMEI 或 IMEISV	必选
CIMI	获取 IMSI	必选
CSUPI	获取 SUPI	宜选
CNUM	获取 MSISDN	宜选

9.3 呼叫控制命令

呼叫控制命令描述见表22 。

表22 呼叫控制命令

AT 命令	用途	要求
ATD	发起呼叫	宜选
ATA	应答呼叫	宜选
ATH	挂断呼叫	宜选

9.4 网络服务相关指令

网络服务相关指令描述见表23。

表23 网络服务相关指令

AT 命令	用途	要求
CREG	网络注册状态	必选
CEREG	EPS 网络注册状态	必选
C5GREG	5GS 网络注册状态	必选
COPS	选择运营商	必选

9.5 终端控制和状态命令

终端控制和状态命令描述见表24。

表24 终端控制和状态命令

AT 命令	用途	要求
CFUN	设置功能	必选
CPIN	设置 PIN 值	必选
CSQ	获取信号质量	必选
CCLK	设置时间	可选
CPWC	设置功率等级	宜选
CSIM	通用 SIM 卡访问	宜选
CPOS	定位控制	宜选
CPOSR	定位报告	宜选
CBCAP	电池能力	宜选
CLAC	列出可用 AT 命令	宜选
CESQ	获取扩展信号质量	宜选

9.6 终端错误命令

终端错误命令描述见表25。

表25 终端错误命令

AT 命令	用途	要求
CME	允许或禁止 CME	必选
CME	返回错误码	必选

9.7 分组域命令

分组域命令描述见表26。

表26 分组域命令

AT 命令	用途	要求
CGDCONT	定义 PDPcontext	必选
CGATT	PS Attach 和 Detach	必选
CGACT	PDP context 激活或去激活	必选
CGCMOD	PDPcontext 修改	宜选
CGPADDR	显示 PDP 地址	必选
CGDATA	进入数据状态	宜选
CGCONTRDP	读取 PDPcontext 动态参数	必选
CEUS	终端 EPS 和 5GS 用途设定	宜选
CSCON	信令连接状态	宜选
C5GQOS	设置 5GS QoS	宜选
C5GQOSRDP	读取 5GS QoS 动态参数	宜选
C5GNSSAI	设置 5GS NSSAI	必选
C5GNSSAIRDP	读取 5GS NSSAI 动态参数	宜选

9.8 短信模式指令

短信模式指令描述见表27。

表27 短信模式指令

AT 命令	用途	要求
CSMS	设置短消息业务	必选
CMGF	文本或 PDU 模式	必选
CSCA	设置短消息中心号码	必选
CMGS	发送短消息	必选
CMS ERROR	错误码	必选
CNMI	接收到短消息时的处理设定	必选
CNMA	短消息接收确认	必选

9.9 网络协议要求

模组软件应支持基本网络协议，其中IP网络层需支持IPv4、IPv6协议，传输层需支持TCP、UDP协议。

9.10 数据交互方式及应用数据通信要求

模组软件应支持USB数据交互方式，可选支持物理串口数据交互方式。应用数据通信需支持虚拟网卡或AT命令数据通信方式，其中虚拟网卡应用数据通信方式下TCP/IP协议栈运行于终端侧，AT命令数据通信方式下TCP/IP协议栈运行于模组侧。

9.11 USB 虚拟设备驱动要求

模组软件宜通过USB虚拟串口和虚拟网卡进行数据交互；其中USB虚拟串口用于AT命令控制或log输出，驱动需支持CDC-ACM模型，USB虚拟网卡用于网络数据通信，驱动需支持CDC-ECM或CDC-NCM模型。

9.12 网络状态查询命令

电力5G轻量化模组可支持通过USB虚拟串口和虚拟网卡进行网络状态查询，如服务小区的小区ID、工作频段和信号质量等信息。

9.13 上位机交互要求

电力5G轻量化模组软件应具备与上位机进行数据通信和控制命令交互的功能，上位机软件或工具能够对模组进行功能控制操作，其中，上位机主流操作系统包括Linux、Android或Windows等。

9.14 操作系统要求

电力5G轻量化模组内部操作系统宜支持OpenHarmony，Linux等免授权自主可控的开放生态操作系统，支持组件化服务框架和多语言开发框架，有开放的统一接口、完善的开发工具和社区支持、长期的技术支持和安全漏洞修复，支持电力业务应用快速部署。

10 硬件尺寸要求

电力5G轻量化模组硬件尺寸要求参照**错误!未找到引用源。**。

11 环境适应性要求

电力5G轻量化模组按照正常工作温度范围的不同，划分为I类工作温度和II类工作温度：

- a) I类工作温度：应在-30℃~70℃范围内能正常工作；
- b) II类工作温度：应在-40℃~85℃范围内能正常工作。

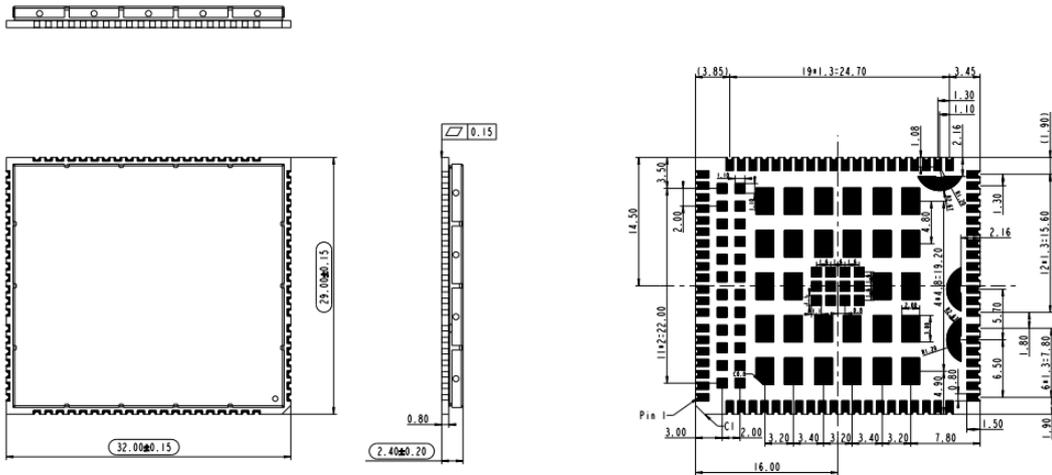
附录 A
(资料性附录)
硬件尺寸要求

A.1 封装形态分类

为了更好适用不同的电力应用场景，方便应用于不同形态的产品，电力5G轻量化通信模组的封装方式宜采用LGA/LCC+LGA、M.2和mini PCIe三大类封装及规格尺寸。LGA/LCC+LGA封装，单面表贴形态，便于贴装在对高度和集成度有要求的各型产品上；PCIe M.2封装和mini PCIe封装，即插即用；其中mini PCIe是基于PCI-E总线的接口。模组尺寸大小表述格式为：模组长度 x 模组宽度 (mm*mm)。

A.2 LGA/ LCC+LGA规格尺寸

LGA/LCC+LGA单面表贴封装尺寸长宽不宜大于 $(32 \pm 0.15) \times (29 \pm 0.15)$ mm，厚度不宜大于 (2.4 ± 0.2) mm，如图A.1 所示，外观如图A.2 所示。



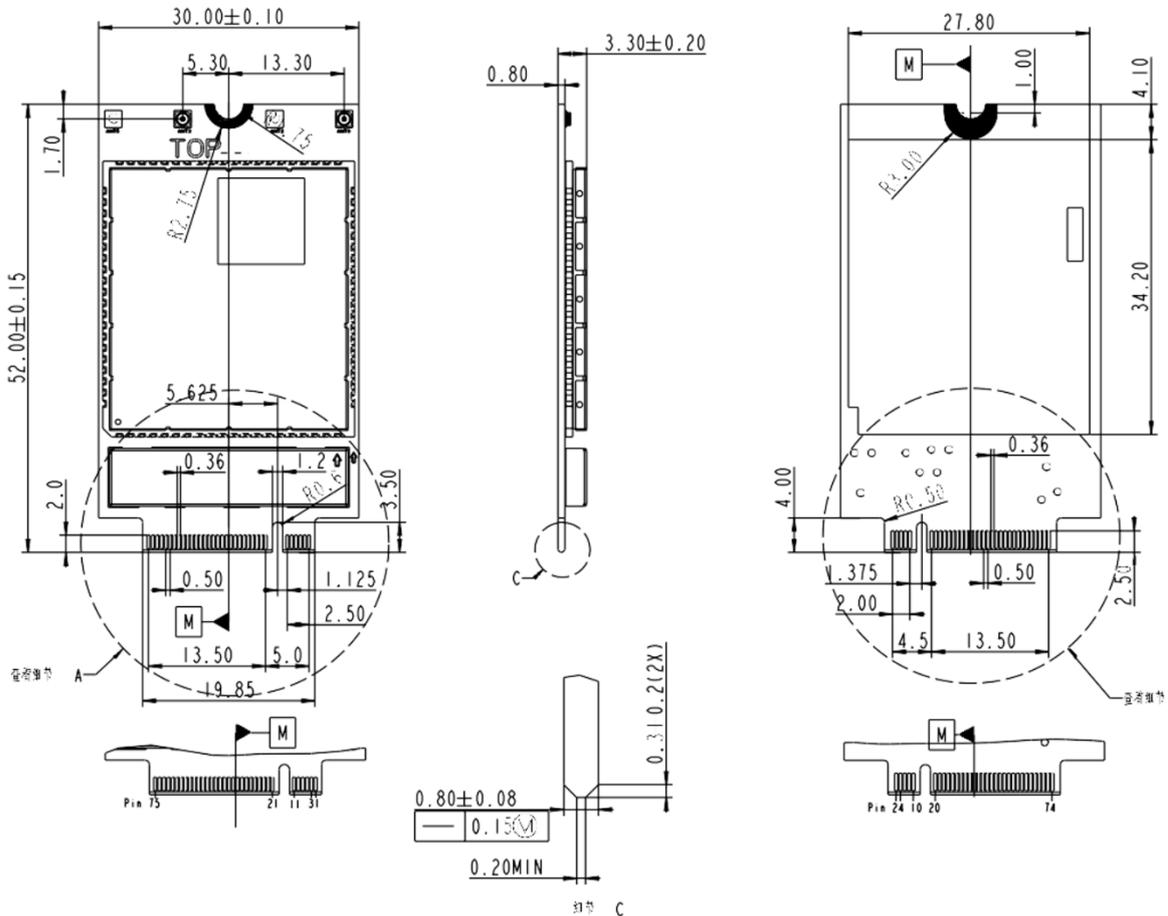
图A.1 LGA/LCC+LGA 模组三视尺寸图 (单位: mm)



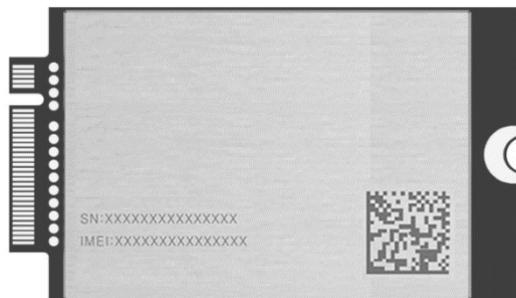
图A.2 LGA/LCC+LGA 模组外观示意图

A.3 PCIe M.2 规格尺寸

PCIe M.2单面布板为75pin Key-B M.2接口封装，封装尺寸长宽不宜大于 $(30 \pm 0.15) \times (52 \pm 0.15)$ mm，厚度不宜大于 (3.3 ± 0.2) mm，如图A.3 所示，外观如图A.4 所示：



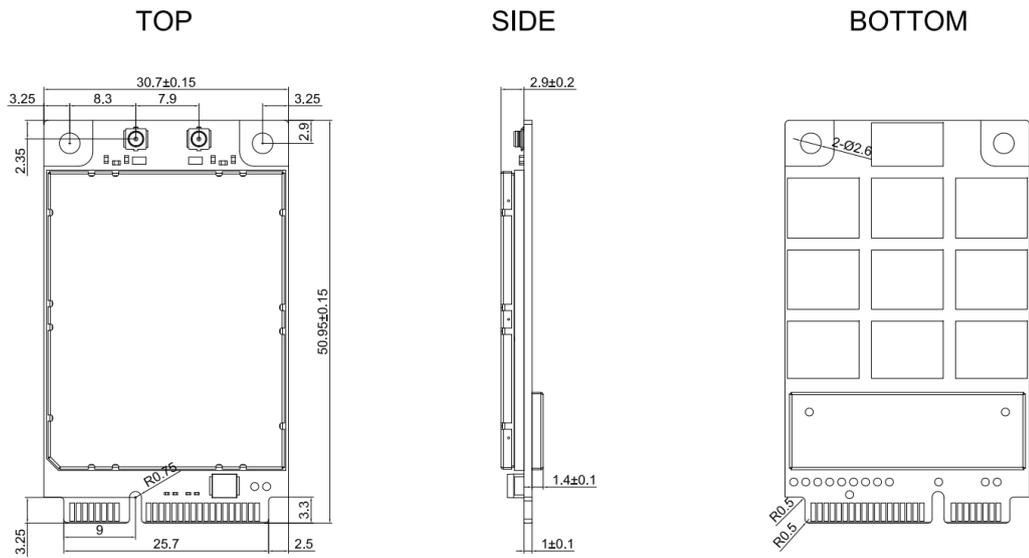
图A.3 PCIe M.2 模组单面布板三视尺寸图（单位：mm）



图A.4 PCIe M.2 模组外观示意图

A.4 Mini PCIe规格尺寸（一）

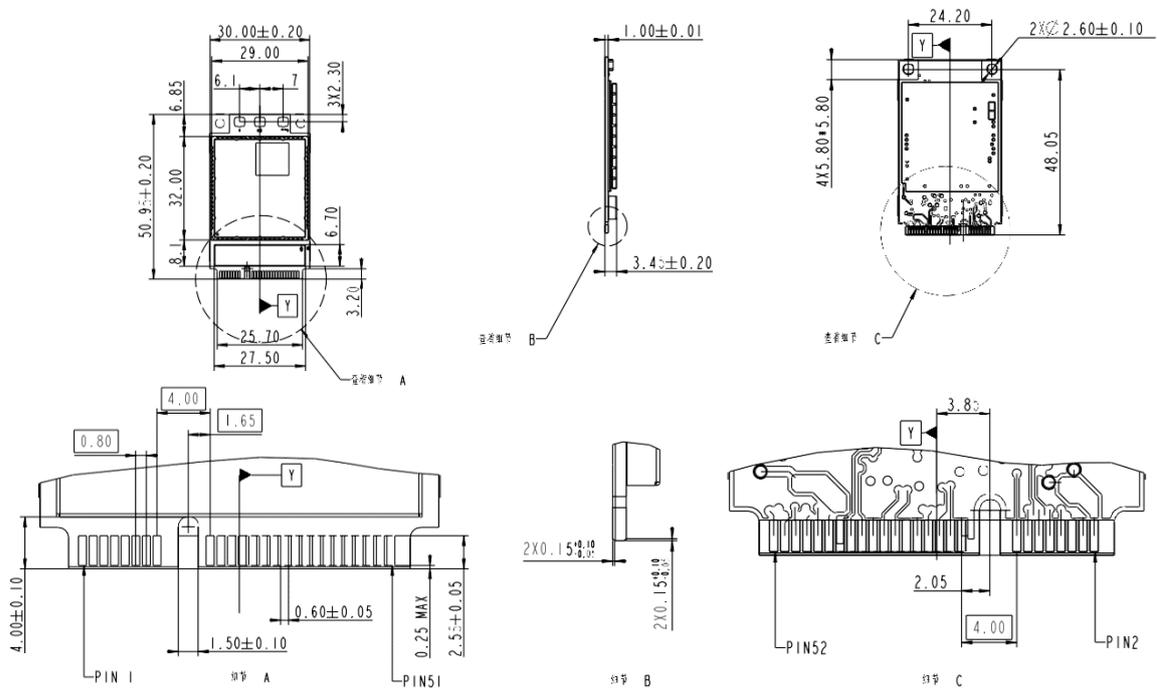
MiniPCIe 双面布板采用52 pin规格，封装尺寸长宽不宜大于 $(31 \pm 0.15) \times (51 \pm 0.15)$ mm，厚度不宜大于 (5.3 ± 0.3) mm，如图A.5 所示，外观如图A.7 所示。



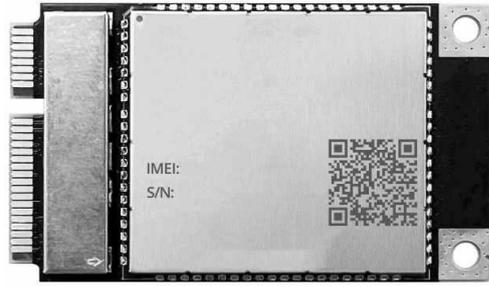
图A.5 Mini PCIe 模组双面布板三视尺寸图（单位：mm）

A.5 Mini PCIe规格尺寸（二）

Mini PCIe单面布板为52pin Key-B M.2接口封装，封装尺寸长宽不宜大于 $(30 \pm 0.15) \times (51 \pm 0.15)$ mm，厚度不宜大于 (3.5 ± 0.20) mm，如图A.6 所示，外观如图A.7 所示。



图A.6 Mini PCIe 模组单面布板三视尺寸图（单位：mm）



图A.7 Mini PCIe 模组外观示意图