Air780EX

硬件设计手册

版 本 号：V1.1.3

发布日期：2024.7.10



合宙Luat，让万物互联更简单

上海合宙通信科技有限公司为客户提供最及时、最全面的服务，如需任何帮助，请随时联系我司，

联系方式如下：

上海合宙通信科技有限公司

地址：上海市浦东新区盛大天地源创谷一号楼 101

电话：+86-021-63350635

邮箱：luat@openluat.com

官网：https://www.openluat.com/

社区：https://doc.openluat.com/

警示：

上海合宙通信科技有限公司提供该文档内容用以支持其客户的产品设计，客户须按照文档中提供的规范、参数来设计其产品。由于客户设计或操作不当而造成的人身伤害或财产损失，本公司不承担任何责任。该文档可满足本手册规定技术条件下大多数应用性设计场景需求，如有特殊需求，请与我司技术部门联系。我司有权对该文档进行不定期持续性更新。

请访问合宙官网和社区来获取最新版本的文档：

版权声明：

本文档版权属于上海合宙通信科技有限公司所有，保留一切权利。

Luat 上海合宙

修改记录：

版本号	修改记录	日期	作者
V1.0.0	新建	2023-2-25	Chengong
V1.0.1	BOOT 管脚描述修改	2023-4-4	Chengong
V1.0.2	修改电平管脚描述	2023-4-7	Chengong
V1.0.3	修改 LED 指示灯管脚描述错误	2023-4-12	Chengong
V1.0.4	修改 USB 管脚描述错误	2023-4-13	Chengong
V1.0.5	修改温度范围描述	2023-4-20	Chengong
V1.0.7	模块型号列表添加 Air780EX-3.3V	2023-8-18	Chengong
V1.0.9	修改内核为双核	2024-1-22	Chengong
V1.1.0	添加 DBG_UART 使用注意事项	2024-3-14	Chengong
V1.1.1	添加实网环境功耗测试电流曲线	2024-4-2	Chengong
V1.1.2	添加 IO 中断说明	2024-4-9	Chengong
V1.1.3	修改 WatchDog 描述为硬件看门狗	2024-7-10	Baishiyu

Luat

目录

1. 绪论 6

2. 综述 7

2.1 型号信息 7
2.2 主要性能 8

3. 应用接口 10

3.1. 管脚描述 10
3.2. 工作模式 16
3.3. 电源供电 16
3.3.1. 模块电源工作特性 17
3.3.2. 减小电压跌落 17
3.3.3. 供电参考电路 17
3.4. 开关机 19
3.4.1. 开机 19
3.4.2. 关机 20
3.4.3 复位 21
3.5. 串口 22
3.5.1. MAIN_UART 22
3.5.2. AUX_UART 23
3.5.3. DBG_UART 23
3.5.4. 串口连接方式 24
3.5.5. 串口电压转换 25
3.6. USB 接口 26
3.7. USB 下载模式 27
3.8. SIM 卡接口 28
3.8.1. SIM 接口 28
3.8.2. SIM 接口参考电路 28
3.9. LDO 输出 29
3.10. 功能管脚 30
3.10.1. MAIN_RI 30
3.10.2. MAIN_DTR 32
3.10.3. 状态指示灯 32
3.11. 省电功能 33
3.11.1. 最少功能模式/飞行模式 33
3.11.2. 睡眠模式（慢时钟模式） 34
3.12. 模式切换汇总 35

4. 射频接口 36

4.1. 射频参考电路 36
4.2. RF 输出功率 36

Luat 上海合宙

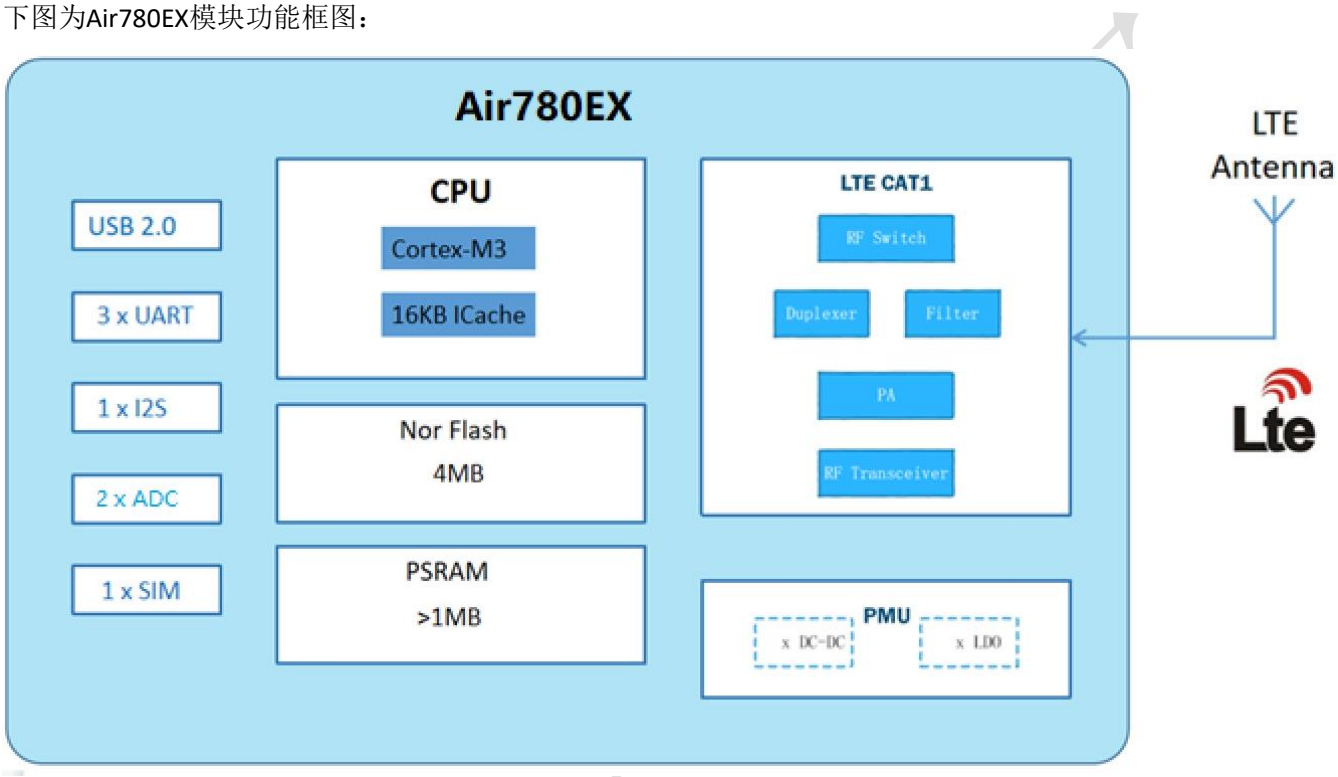
4.3. RF 传导灵敏度 37
4.4. 工作频率 37
4.5. 推荐 RF 焊接方式 38
5. 电器特性，可靠性，射频特性 39
5.1. 绝对最大值 39
5.2. 推荐工作条件 39
5.3. 工作温度 39
5.4. 功耗 40
5.4.1. 模块工作电流 40
5.4.2. 实网环境功耗 41
5.4.3. 实网环境功耗测试电流曲线 43
5.5. 静电防护 49
6. 模块尺寸图 50
6.1. 机械尺寸 50
6.2. 推荐 PCB 封装 52
7. 存储和生产 53
7.1. 存储 53
7.2. 生产焊接 53
8. 术语缩写 54

Luat 上海合宙

1. 绪论

Air780EX是一款基于移芯EC618平台设计的LTE Cat 1无线通信模组。支持FDD-LTE/TDD-LTE的4G远距离无线传输技术。另外，模组提供了USB/UART/I2C等通用接口满足IoT行业的各种应用诉求。

下图为Air780EX模块功能框图：



图表 1：功能框图

Luat

2. 综述

2.1 型号信息

表格 1：模块型号列表

型号	Air780EX	Air780EX-3.3V
LTE-FDD	B1/B3/B5/B8	B1/B3/B5/B8
LTE-TDD	B34/B38/B39/B40/B41	B34/B38/B39/B40/B41
IO 电平	固定 1.8V	固定 3.3V
模块尺寸	17.7mm*15.8mm*2.3mm	17.7mm*15.8mm*2.3mm
封装	LCC	LCC
备注	4G 全网通	4G 全网通

Luat 上海

2.2 主要性能

表格 2：模块主要性能

特征	说明
CPU	♦ Cortex M3 @ 204MHz ♦ 16KB ICache
Flash	♦ Nor Flash 4MB
RAM	♦ PSRAM >1MB
支持频段	♦ LTE-FDD：B1/B3/B5/B8 ♦ LTE-TDD：B34/B38/B39/B40/B41
发射功率	♦ LTE-FDD：Class3(23dBm+-2dB) ♦ LTE-TDD：Class3(23dBm+1/-3dB)
供电	♦ VBAT 3.3V ~ 4.3V，典型值3.8V
LTE 特性	♦ 最大支持non-CA CAT1 ♦ 支持1.4~20MHz射频带宽 ♦ LTE-FDD：最大上行速率 5Mbps，最大下行速率 10Mbps ♦ LTE-TDD：上下行配置1 最大上行速率 4Mbps，最大下行速率 6Mbps ♦ LTE-TDD：上下行配置2 最大上行速率 2Mbps，最大下行速率 8Mbps
网路协议特性	♦ 已支持TCP/UDP/PPP/HTTP/NITZ/NDIS/NTP/HTTPS/MQTT
USIM 卡接口	♦ 支持USIM/SIM卡：1.8V和3V
USB 接口	♦ 支持 USB 2.0 High speed（只支持从模式），数据传输速率最大到 480Mbps ♦ 用于AT指令、数据传输、软件调试、软件升级 ♦ USB 虚拟串口驱动：支持Windows 7/8.1/10，Linux 2.6.x/3.x/4.1， Android 4.x/5.x/6.x/7.x 等操作系统下的 USB 驱动

串口	MAIN_UART： ♦ 通用串口，可用于AT命令和数据传输 ♦ 最大波特率921600bps，默认波特率自适应9600-115200bps ♦ 支持硬件流控（RTS/CTS） AUX_UART： ♦ 通用串口 DBG_UART： ♦ 用于输出调试信息
I2S	♦ 1路数字音频接口 ♦ 可外接codec芯片
WatchDog	♦ 硬件看门狗
天线接口	♦ 一个LTE天线接口
温度范围 *	♦ 正常工作温度：-35° C～+75° C ♦ 极限工作温度：-40° C～+85° C
RoHS	♦ 所有器件完全符合RoHS标准
物理特性	♦ 尺寸：17.7mm*15.8mm*2.3mm ♦ 重量：约2.6g
封装	♦ 54个管脚，实际可用管脚详见管脚图

***注:**

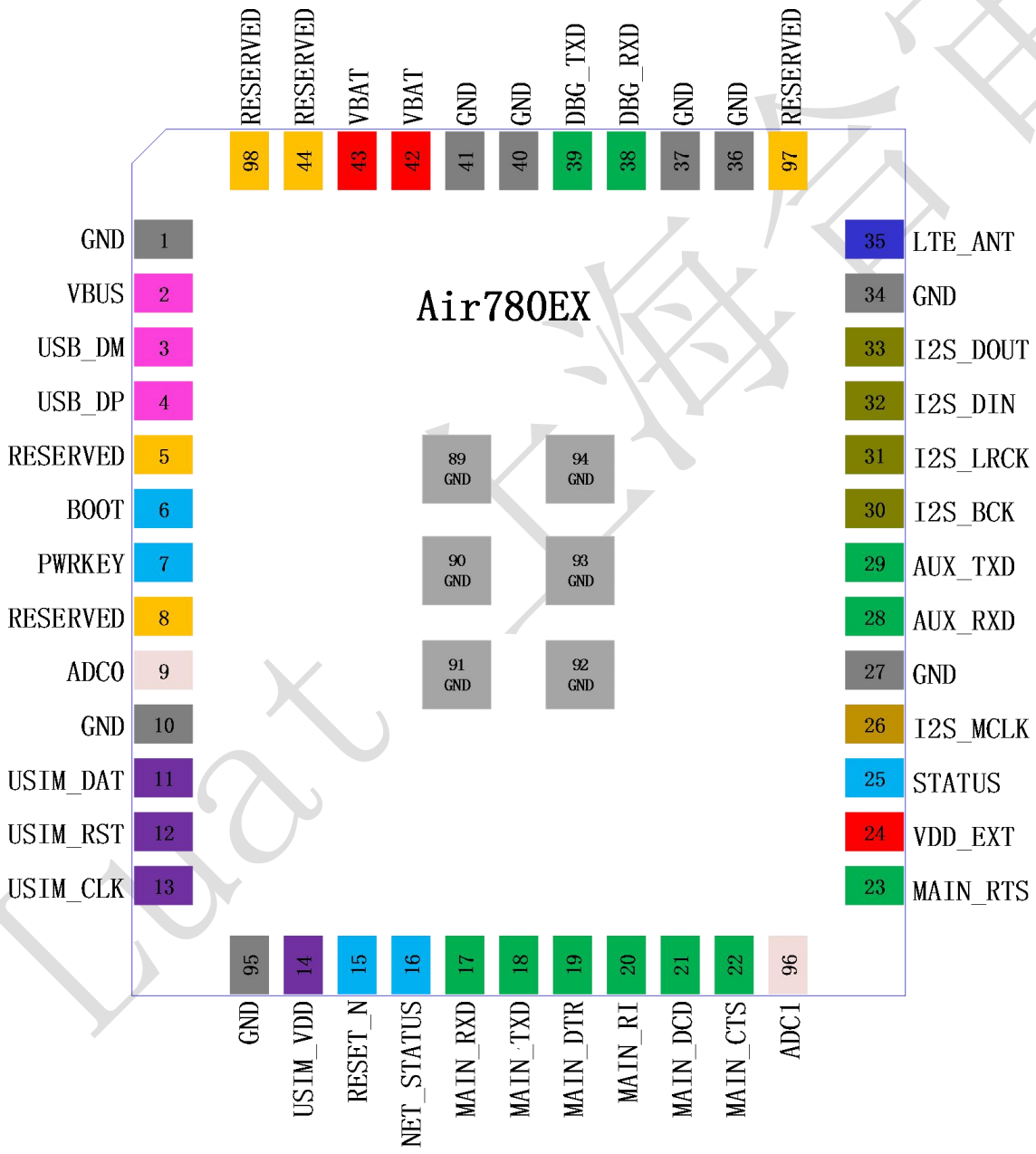
模组工作在-40° C～-35° C 或+75° C～+85° C 温度范围时，模组可以正常工作，但部分射频指标不保证能满足 3GPP 标准。

Luat

3. 应用接口

模块采用LCC封装，54个SMT焊盘管脚，以下章节将详细阐述Air780EX各接口的功能

3.1. 管脚描述



图表 2：Air780EX 管脚排列图（正视图）

Luat 上海合宙

表格 3：管脚描述

电源

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
VBAT	42,43	PI	模块主电源	VBAT=3.3V~4.3	供电能力满足瞬时电流大于 1.5A
VDD_EXT	24	DO	固定输出 1.8V 或 3.3V	VDD_EXT=1.8V 或 3.3V Imax= 4mA	注意 VDD_EXT 仅仅用于外部上拉，不可用于其他外设供电
GND	1,10,27,34,36,37,40,41,89,90,91,92,95		参考地		

控制管脚

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
PWRKEY	7	DI	开关机控制管脚，低有效		
RESET_N	15	DI	模块复位输入，低脉冲有效，复位后模块处于硬件关机状态		不用则悬空
BOOT	6	DI	下载模式控制管脚，高有效		开机过程中通过 51K 电阻拉高到模块供电电源 VBAT 进入下载模式

Luat上官宣

串口

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
MAIN_TXD	18	DO	主串口数据发送	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
MAIN_RXD	17	DI	主串口数据接收	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
MAIN_CTS	22	DO	DTE 清除发送	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
MAIN_RTS	23	DI	DTE 请求发送	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
MAIN_DCD	21	DO	UART 输出载波检测	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
MAIN_DTR	19	DI	主串口数据终端就绪，地有效，将模块从休眠状态唤醒	VDD= 1.8V 或 3.3V VIH= 0.7*VDD VIL=0.2* VDD	驱动能力< 30uA 由于内部分压，内部上拉电平测量在 1.1V 左右
MAIN_RI	20	DO	主串口数据振铃信号	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
AUX_TXD	29	DO	扩展串口数据发送	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
AUX_RXD	28	DI	扩展串口数据接收	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
DBG_TXD	39	DO	调试串口数传	DC 电平:VDD_EXT	只能用于调试信息的监控
DBG_RXD	38	DI	调试串口输入	DC 电平:VDD_EXT	只能用于调试信息的监控

USB 接口

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
VBUS	2	DI	USB 插入唤醒	建议不超过 5.5V	内部电阻分压
USB_DP	4	IO	USB 数据差分信号		90 欧姆差分主控控制

USB_DM	3	IO	USB 数据差分信号	90 欧姆差分主控控制

USIM 接口

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
SIM_RST	12	DO	USIM 卡接口复位信号	1.8V/3.3V	
SIM_CLK	13	DO	USIM 卡接口时钟信号	1.8V/3.3V	
SIM_DAT	11	IO	USIM 卡接数据信号	1.8V/3.3V	
SIM_VDD	14	PO	USIM 卡接电源信号	1.8V/3.3V	

数字语音接口

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
I2S_MCLK	26	DO	I2S 数字语音接口主时钟信号	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
I2S_LRCK	31	DIO	I2S 数字语音接口左右声道控制信号	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
I2S_BCK	30	DO	I2S 数字语音接口位时钟信号	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
I2S_DIN	32	DI	I2S 数字语音接口输入信号	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
I2S_OUT	33	DO	I2S 数字语音接口输出信号	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空

模数转换 ADC 接口

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
ADC0	9	AI	模数转换 ADC 通道 0	量程 0~1.2V	若超量程需要外部电阻分压
ADC1	96	AI	模数转换 ADC 通道 1	量程 0~1.2V	若超量程需要外部电阻分压

天线接口

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
LTE_ANT	35		4G LTE 射频天线接口		建议预留 Π 形天线匹配，走线需 50 欧姆阻抗匹配

LED 指示灯接口

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
NET_STATUS	16	DO	网络状态指示灯	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空
STATUS	25	DO	开机状态指示，高电平表示开机状态	DC 电平:VDD_EXT	不用则悬空

其他 IO 口

管脚名	管脚号	IO	描述	电气特性	备注
RESERVED	5,8,97,44,98		预留 GPIO		保持悬空

***注:**

1. 二次开发 GPIO 复用功能详见对应《_GPIO_table》

2.LDOAON 为芯片内部部分 GPIO 供电电源，由此电源供电的 IO 口休眠状态下能够保持。

3.所有 io 都支持中断；

可以复用为 wakeup 的 io 支持双边沿或者高低电平中断，休眠以及唤醒状态下都能使用；

其余 io 仅支持单边沿或者单电平中断，唤醒状态下可用，休眠状态下不能使用。

表格 4：IO 参数定义

类型	描述
IO	Input/Output
DI	Digital Input
DO	Digital Output
PI	Power Input
PO	Power Output
AI	Analog Input
AO	Analog Output
OD	Open Drain Output

Luat 上海合宙

3.2. 工作模式

下表简要的叙述了接下来几章提到的各种工作模式。

表格 5：工作模式

模式	描述	
正常工作	ACTIVE	连接正常工作。有数据或者语音或者短信交互。此模式下，模块功耗取决于环境信号的强弱，动态DTX控制以及射频工作频率。
	IDLE	MCU 内核时钟关闭，系统中断随时可以唤醒模块。模块注册上网络，没有数据，语音和短信交互。进入和退出IDLE模式均由系统自动管理
休眠模式	SLEEP1	休眠模式下。外设均会被关闭，大部分IO处于掉电状态，仅有AGPIO能够保持电平，功耗极大降低。通过AT+CSCLK=1或者AT+CSCLK=2进入 此模式
关机模式	OFF	此模式下PMU停止给基带和射频供电，软件停止工作，串口不通，但VBAT管脚依然通电

注意：

- 模块进入休眠状态后只能通过以下管脚中断唤醒退出休眠模式。

管脚名	序号	功能	描述
PWRKEY	7	开机关机	通拉低开机管脚触发中断
MAIN_TXD/RXD	17,18	主串口	通过给串口发数据唤醒模块
MAIN_DTR	19	模块唤醒管脚	拉低触发中断唤醒
VBUS	2	USB 插入唤醒	USB插入，或拉高触发

3.3. 电源供电

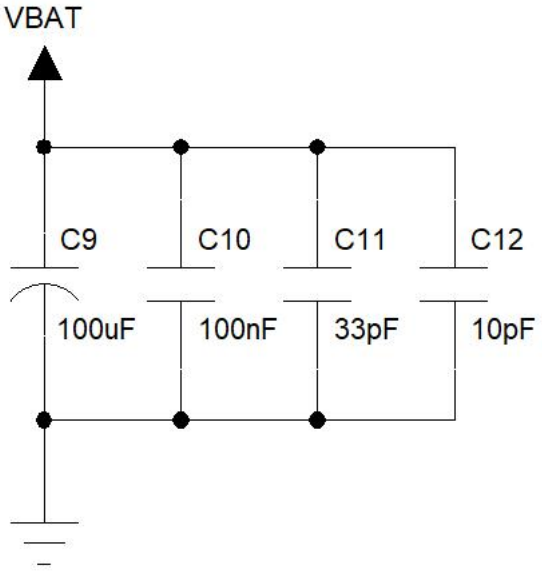
管脚名	管脚号	描述
VBAT	42,43	模块基带电源，供电范围3.3V~4.3V

3.3.1. 模块电源工作特性

在模块应用设计中，电源设计是很重要的一部分。由于LTE射频工作时最大峰值电流高达1.5A，在最大发射功率时会有约700mA的持续工作电流，电源必须能够提供足够的电流，不然有可能会引起供电电压的跌落甚至模块直接掉电重启。

3.3.2. 减小电压跌落

模块电源VBAT电压输入范围为3.3V~4.3V，但是模块在射频发射时通常会在VBAT电源上产生电源电压跌落现象，这是由于电源或者走线路径上的阻抗导致，一般难以避免。因此在设计上要特别注意模块的电源设计，在VBAT输入端，建议并联一个低ESR(ESR=0.7Ω)的100uF的钽电容，以及100nF、33pF、10pF滤波电容，VBAT输入端参考电路如图4所示。并且建议VBAT的PCB走线尽量短且足够宽，减小VBAT走线的等效阻抗，确保在最大发射功率时大电流下不会产生太大的电压跌落。建议VBAT走线宽度不少于1mm，并且走线越长，线宽越宽。



图表 3：VBAT 输入参考电路

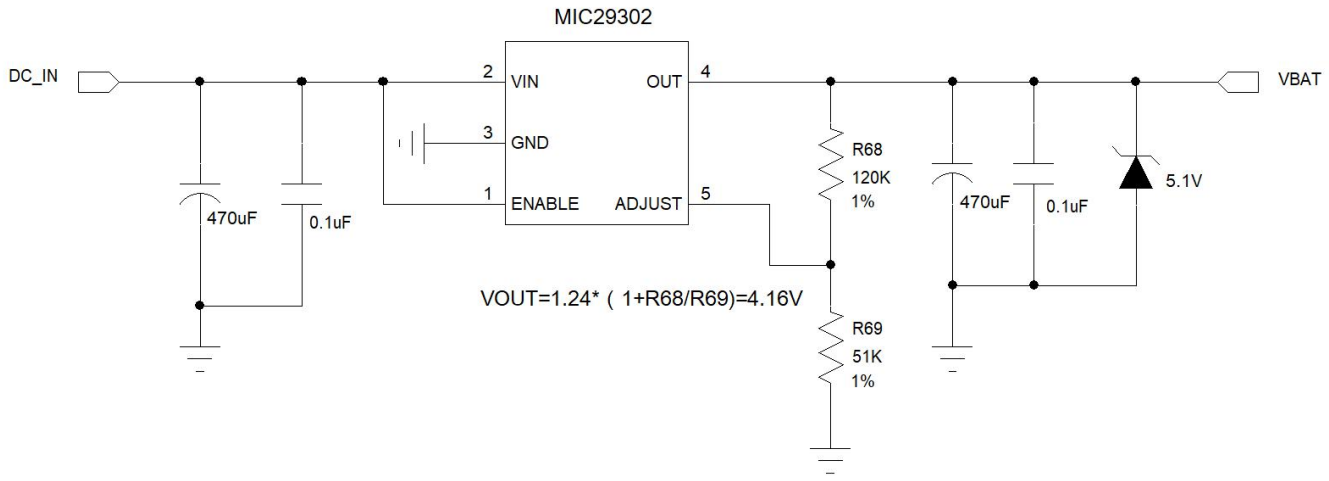
3.3.3. 供电参考电路

电源设计对模块的供电至关重要，必须选择能够提供至少1A电流能力的电源。若输入电压跟模块的供电电压的压差小于2V，建议选择LDO作为供电电源。若输入输出之间存在的压差大于2V，则推荐使用开关电源转换器以提高电源转换效率。

LDO供电：

下图是5V供电的参考设计，采用了Micrel公司的LDO，型号为MIC29302WU。它的输出电压是4.16V，负载电流峰值到3A。为确保输出电源的稳定，建议在输出端预留一个稳压管，并且靠近模块VBAT管脚摆放。建议

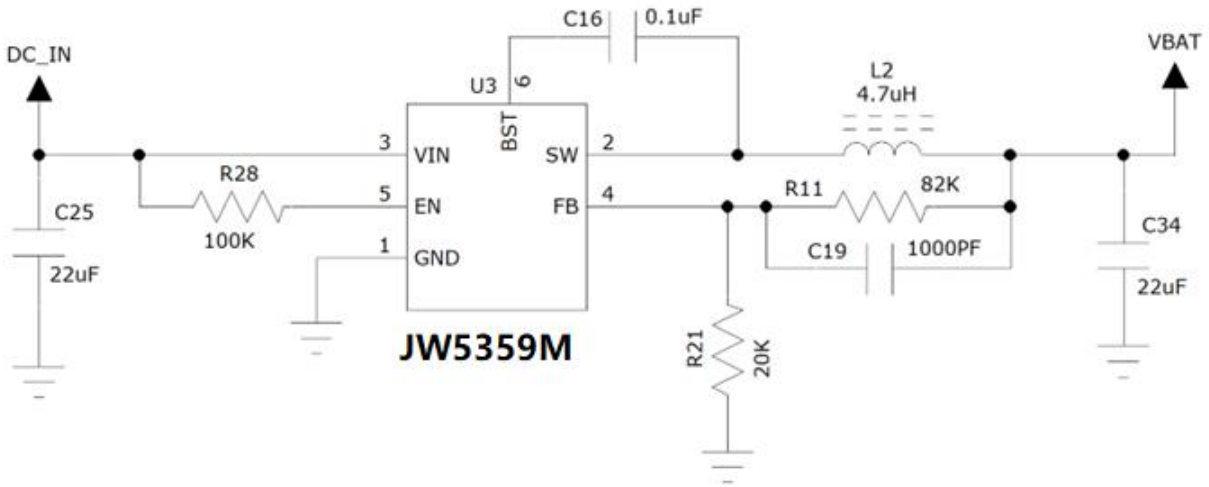
选择反向击穿电压为5.1V，耗散功率为1W以上的稳压管。



图表 4：供电输入参考设计

DC-DC 供电：

下图是 DC-DC 开关电源的参考设计，采用的是杰华特公司的 JW5359M 开关电源芯片，它的最大输出电流是 2A，输入电压范围 3.7V~18V。注意 C25 的选型要根据输入电压来选择合适的耐压值。



图表 6：DCDC 供电输入参考设计

3.4. 开关机

3.4.1. 开机

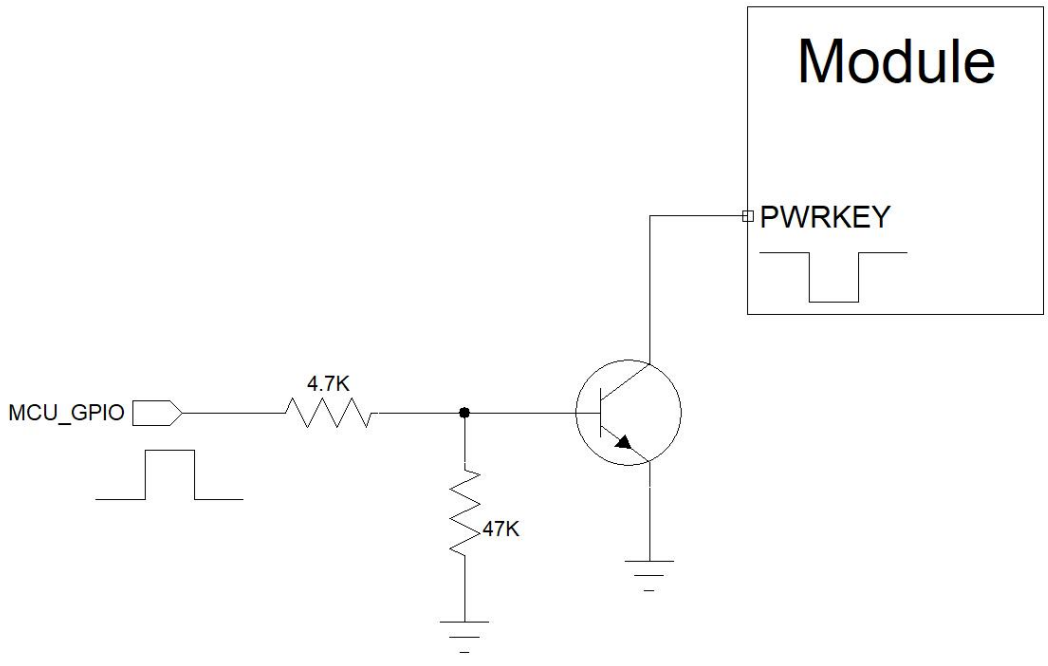
管脚名	类型	序号	描述
PWRKEY	DI	7	模块开机/关机控制脚

在VBAT供电后，可以通过如下两种方式来触发Air780EX开机：

1. 按键开机：PWRKEY管脚通过轻触按键连接到地，按键按下1秒以上实现开机。
2. 上电开机：将PWRKEY管脚直接短接到地，VBAT上电后就可以实现开机。

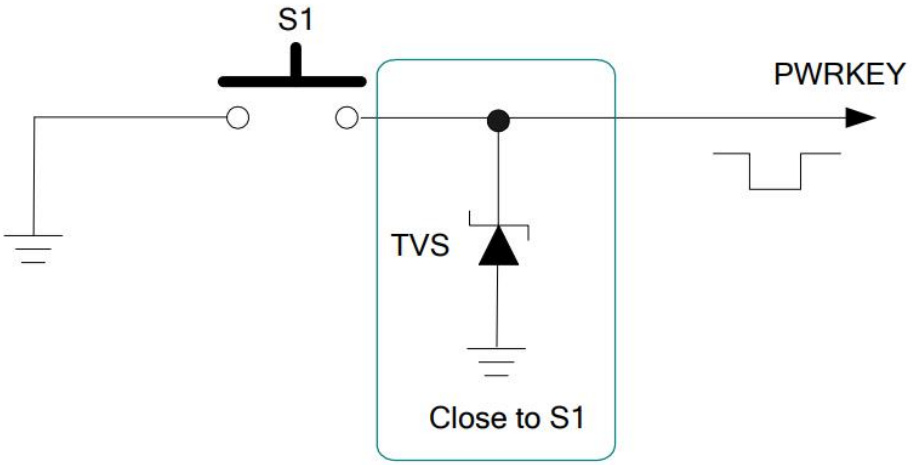
3.4.1.1 PWRKEY 管脚开机

VBAT上电后，可以通过PWRKEY管脚启动模块，把PWRKEY管脚拉低1秒以上之后模块会进入开机流程，软件会检测VBAT管脚电压，若VBAT管脚电压大于软件设置的开机电压（3.3V），会继续开机动作直至系统开机完成；否则，会停止执行开机动作，系统会关机，开机成功后PWRKEY管脚可以释放。可以通过检测 VDD_EXT 管脚的电平来判别模块是否开机。推荐使用开集驱动电路来控制PWRKEY管脚。下图为参考电路：



图表 5：开集驱动参考开机电路

另一种控制PWRKEY管脚的方法是直接使用一个按钮开关。按钮附近需放置一个TVS管用以ESD保护。下图为参考电路：



图表 6：按键开机参考电路

3.4.1.2 上电开机

将模块的 PWRKEY 直接接地可以实现上电自动开机功能。需要注意，在上电开机模式下，将无法关机，只要 VBAT 管脚的电压大于开机电压即使软件调用关机接口，模块仍然会再开机起来。另外，在此模式下，要想成功开机起来 VBAT 管脚电压仍然要大于软件设定的开机电压值（3.3V），如果不满足，模块会关闭，就会出现反复开关机的情况。

对于用电池供电的应用场景不建议用 PWRKEY 接地的上电自动开机方式。

3.4.2. 关机

以下的方式可以关闭模块：

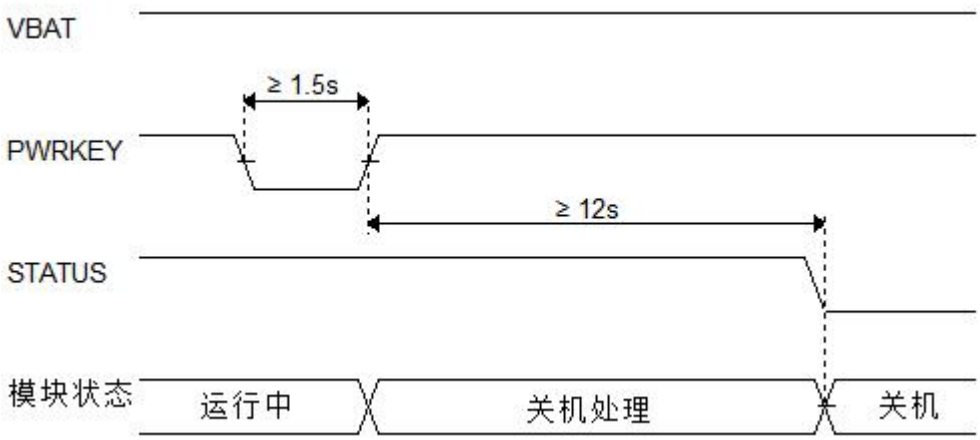
- 正常关机：使用PWRKEY管脚关机
- 正常关机：通过AT指令AT+CPOWD关机
- 低压自动关机：模块检测到低电压时关机，可以通过AT指令 AT+CBC 来设置低电压的门限值；

3.4.2.1 PWRKEY 管脚关机

PWRKEY 管脚拉低 1.5s 以上时间，模块会执行关机动作。

关机过程中，模块需要注销网络，注销时间与当前网络状态有关，经测定用时约2s~12s，因此建议延长12s后再进行断电或重启，以确保在完全断电之前让软件保存好重要数据。

时序图如下：



3.4.2.2 低电压自动关机

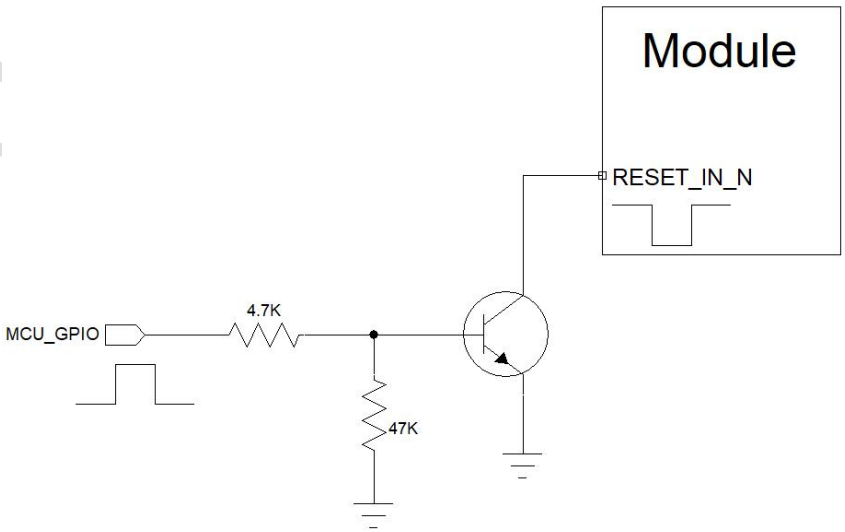
模块在运行状态时当 VBAT 管脚电压低于软件设定的关机电压时（默认设置 3.3V），软件会执行关机动作关闭模块，以防低电压状态下运行出现各种异常。

3.4.3 复位

管脚名	类型	序号	电压域	描述
RESET_N	DI	15	-	模块复位输入，低有效；无需外部上拉，复位后系统处于关机状态

RESET_N 引脚可用于使模块复位。 拉低 RESET_N 引脚 100ms 以上可使模块复位。 RESET_N 信号对干扰比较敏感， 因此建议在模块接口板上的走线应尽量的短，且需包地处理。

参考电路：



注意：

1. 复位功能建议仅在 AT+CPOWD 和 PWRKEY 关机失败后使用。

2. RESET_N 复位管脚拉低释放后，模块会处于硬件关机状态，如果想要重启功能，需要在 RESET_N 复位后重新拉低 POWERKEY 关机进行开机动作。

3.5. 串口

模块提供了三个通用异步收发器：主串口 MAIN_UART、AUX_UART、DBG_UART。

3.5.1. MAIN_UART

表格 6：MAIN_UART 管脚定义

管脚名	类型	序号	电压域	描述
MAIN _TXD	DO	18	VDD_EXT	MAIN_UART 发送数据
MAIN _RXD	DI	17	VDD_EXT	MAIN_UART 接收数据
MAIN _CTS	DO	22	VDD_EXT	流控管脚，MAIN_UART 请求发送数据
MAIN _RTS	DI	23	VDD_EXT	流控管脚，MAIN_UART 清除发送

对于 AT 开发方式，3.5.1. MAIN_UART 用来进行 AT 指令通讯。MAIN_UART 支持固定波特率, 不支持自适应波特率

在默认情况下，模块的硬件流控是关闭的。当客户需要硬件流控时，管脚 **RTS,CTS** 必须连接到客户端，**AT** 命令**“AT+IFC=2,2”**可以用来打开硬件流控。**AT** 命令**“AT+IFC=0,0”**可以用来关闭流控。具体请参考《AirM2M 无线模块 AT 命令手册》。

MAIN_UART 在休眠状态下保持的功能，能够唤醒模块

MAIN_UART 的特点如下：

- 包括数据线TXD和RXD，硬件流控控制线RTS和CTS。
- 8个数据位，无奇偶校验，一个停止位。
- 硬件流控默认关闭。
- 用以AT命令传送，数传等。
- 支持波特率如下：600,1200,2400,4800,14400,9600,19200,38400,57600,115200,230400,460800,921600bps

注意：

MAIN_UART 在开机过程中短时会输出固定调试信息

3.5.2. AUX_UART

表格 7：AUX_UART 管脚定义

管脚名	类型	序号	电压域	描述
AUX_TXD	DO	29	VDD_EXT	AUX_UART 发送数据
AUX_RXD	DI	28	VDD_EXT	AUX_UART 接收数据

AUX_UART为辅助串口，不支持AT指令交互，用于某些外设通信，如对接GNSS等。
AUX_UART休眠后会关闭，无法通过给AUX_UART发送数据进行唤醒。

3.5.3. DBG_UART

管脚名	类型	序号	电压域	描述
DBG_TXD	DO	39	VDD_EXT	调试串口，输出 AP log，
DBG_RXD	DI	38	VDD_EXT	调试串口，接收调试指令

DBG_UART 用来软件调试时输出 AP trace，建议预留测试点。

DBG_UART 在开机过程中短时会输出固定调试信息。

DBG_TX、DBG_RX 默认功能为系统底层日志口，进行模块硬件设计时，在剩余功能引脚充足的前提下，避免使用 DBG_TX 和 DBG_RX。

如果将此引脚复用为其他功能，则无法从 DBG_TX 和 DBG_RX 抓取系统日志。

在某些场景下，如果模块出现异常，无法抓到问题日志，只能通过硬件改版，引出 DBG_TX、DBG_RX，抓取日志再进行分析。

包括但不限于以下两种场景：

1、低功耗场景：

在低功耗场景下，USB 无法使用，只能通过 DBG_TX、DBG_RX 来抓取日志。

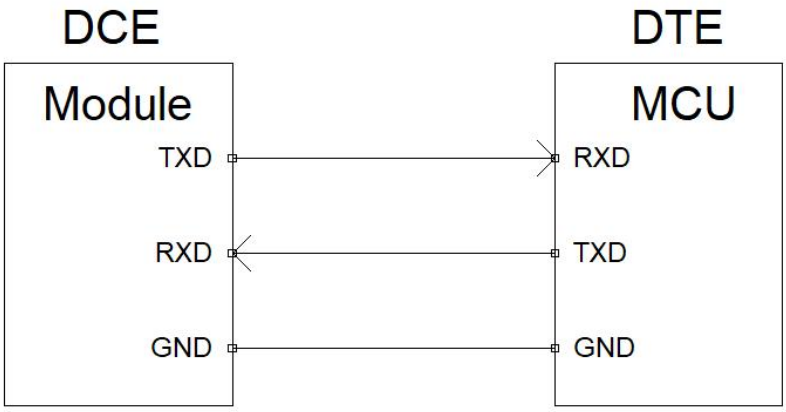
2、非低功耗场景：

模块接入 USB 时，工作正常，未接入 USB 时，工作异常的情况，只能通过 DBG_TX、DBG_RX 来抓取日志。

3.5.4. 串口连接方式

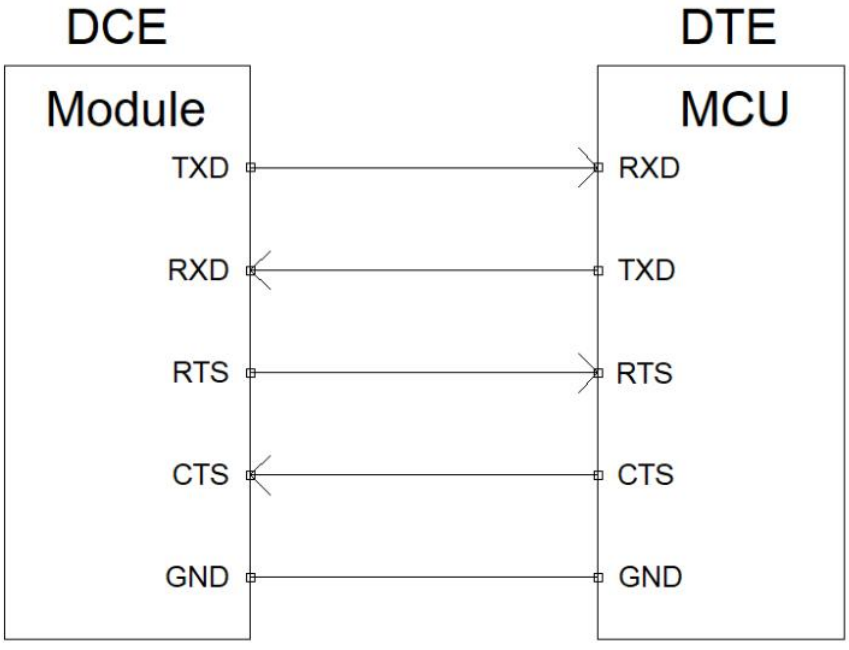
串口的连接方式较为灵活，如下是三种常用的连接方式。

三线制的串口请参考如下的连接方式：



图表 7：串口三线制连接方式示意图

带流控的串口连接请参考如下电路连接，此连接方式可提高大数据量传输的可靠性，防止数据丢失。

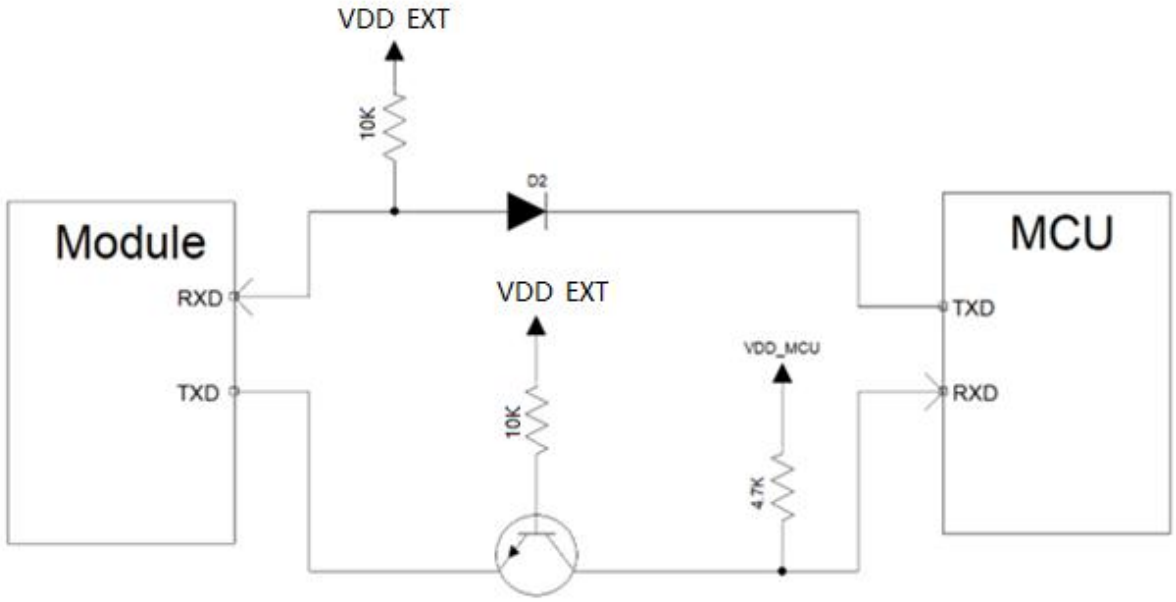


图表 8：带流控的串口连接方式示意图

3.5.5. 串口电压转换

Air780EX 模块的串口电平为固定 1.8V 或 3.3V，能够满足大部分 MCU 主控的串口直接需求，但是如果要和 3.3V /5V 或者以上的 MCU 或其他串口外设通信，那就必须要加电平转换电路：

电平转换参考电路如下：



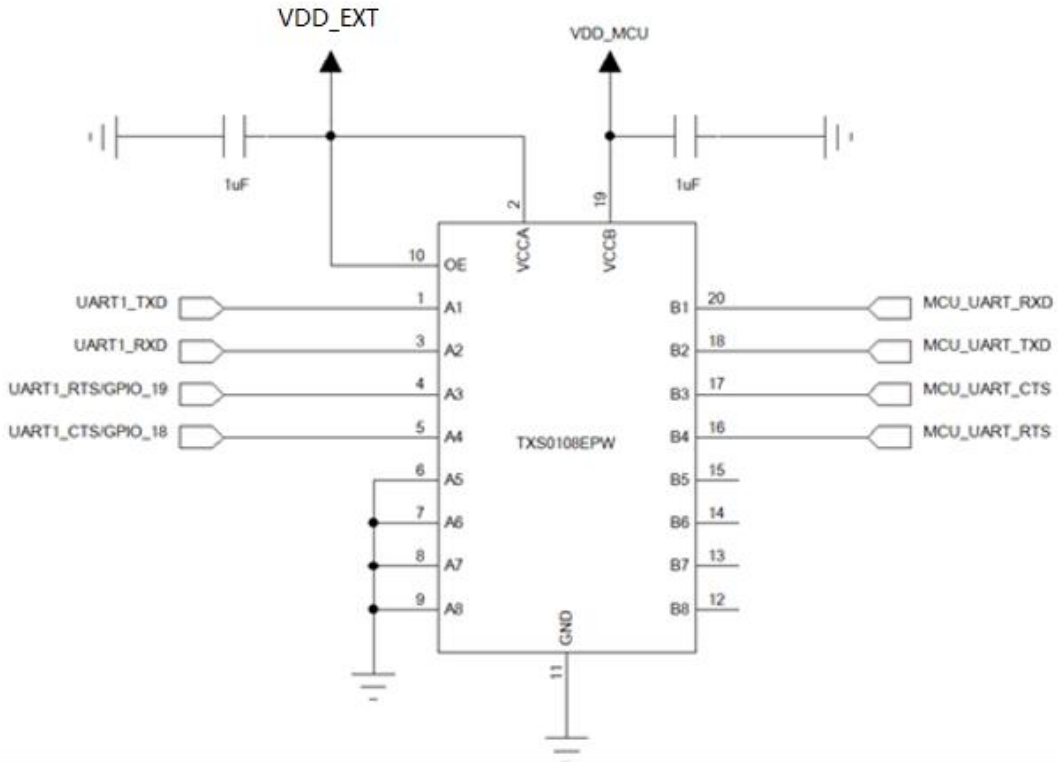
注意

- 此电平转换电路不适用波特率高于460800 bps的应用。
- D2 必须选用低导通压降的肖特基二极管。

肖特基二极管以及 NPN 三极管的推荐型号如下：

物料名称	型号	厂商	描述
肖特基二极管	RB521S-30	江苏长电	Schottky Diode;30V;200mA;SOD523;1.6*0.8*0.6mm
	PSB521S-30	上海智晶	Schottky Diode;30V;200mA;SOD523;1.6*0.8*0.6mm
	LRB521S-30T1G	LRC	Schottky Diode;30V;200mA;SOD523;1.6*0.8*0.6mm
	PSBD521S-30	Prisemi	Schottky Diode;30V;200mA;SOD523;1.6*0.8*0.6mm
NPN 三极管	MMBT3904	江苏长电	Transistor;NPN;40V;200mA;SOT23;1.1mm;ROHS
	MMBT3904	上海智晶	Transistor;NPN;40V;200mA;SOT23;1.1mm;ROHS
	LMBT3904LT1G	LRC	Transistor;NPN;40V;200mA;SOT23;1.1mm;ROHS

对于波特率高于 460800bps 的应用，可以通过外加电平转换芯片来实现电压转换，参考电路如下：



此电路采用的是电平转换芯片是 TI 的 TXS0108E， 8 位双向电压电平转换器，适用于漏极开路和推挽应用，最大支持速率：

推挽：110Mbps

开漏：1.2Mbps

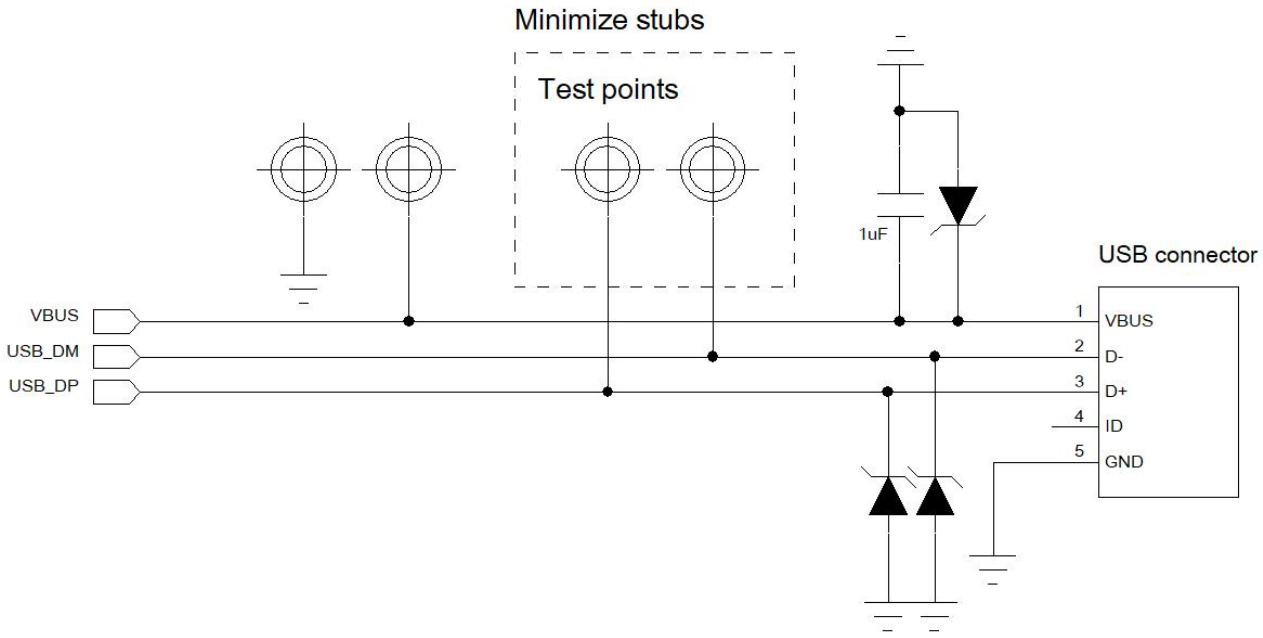
3.6. USB 接口

Air780EX 的 USB 符合 USB2.0 规范，支持高速（480Mbps）、全速（12Mbps）模式和低速（1.2Mbps）模式。USB 接口可用于 AT 命令传送，数据传输，软件调试和软件升级。

表格 8：USB 管脚定义

管脚名	类型	序号	描述
USB_DP	IO	4	USB 差分信号正，走线需控制 90 欧姆差分阻抗
USB_DM	IO	3	USB 差分信号负，走线需控制 90 欧姆差分阻抗
VBUS	DI	2	USB 插入唤醒，模块内部电阻分压。（非必须）

USB接口参考设计电路如下：



图表 9：USB 接口参考设计

注意事项如下：

1. USB 走线需要严格按照差分线控制，做到平行和等长；
2. USB 走线的阻抗需要控制到差分 90 欧姆；
3. 需要尽可能的减少 USB 走线的 stubs，减少信号反射；USB 信号的测试点最好直接放在走线上以减少 stub；
4. 尽可能的减少 USB 走线的过孔数量；
5. 在靠近 USB 连接器或者测试点的地方添加 TVS 保护管，由于 USB 的速率较高，需要注意 TVS 管的选型，保证选用的 TVS 保护管的寄生电容小于 1pF
6. VBUS 作为 USB 插入唤醒作用，并不直接参与 USB 插入检测，非必须，在不需要 USB 插入唤醒的场景也可以不接

3.7. USB 下载模式

管脚名	类型	序号	电压域	描述
BOOT	DI	6	LDOAON	在开机之前通过 51K 电阻上拉到 VBAT 电源，模块会强行进入 USB 下载模式，BOOT 须留测试点，方便后续升级软件

Air780EX 模块进入 USB 下载模式：

1. 在开机之前，把 BOOT 通过 51K 电阻上拉到 VBAT 电源

3.8. SIM 卡接口

Air780EX 支持 1 路 SIM 卡接口，支持 ETSI 和 IMT-2000 卡规范，支持 1.8V 和 3.0V USIM 卡。

3.8.1. SIM 接口

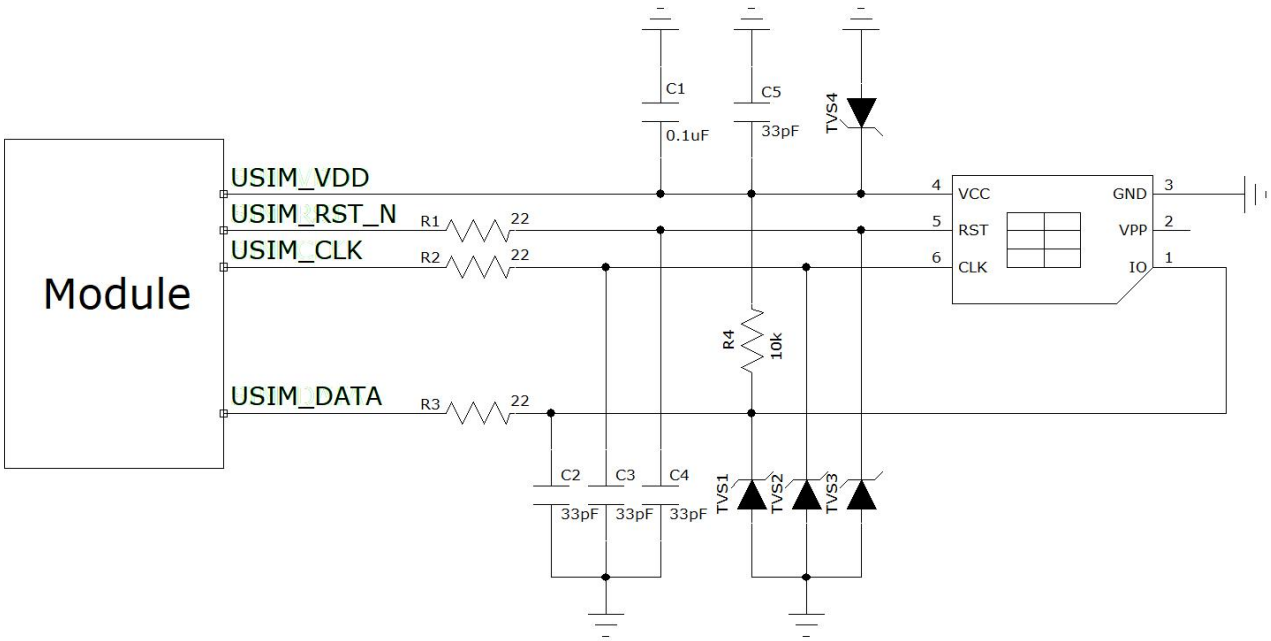
下表介绍了 SIM 接口的管脚定义。

表格 9：SIM 卡接口管脚定义

接口	管脚名	序号	描述
SIM	USIM_VDD	14	SIM 卡供电电源，最大供电电流 10mA。 模块可以自动识别 1.8V 或者 3V(U)SIM 卡。
	USIM_RST	12	SIM 卡复位信号
	USIM_DAT	11	SIM 卡数据信号
	USIM_CLK	13	SIM 卡时钟信号

3.8.2. SIM 接口参考电路

下图是 SIM 接口的参考电路，使用 6pin 的 SIM 卡座。



图表 10：使用 6pin SIM 卡座参考电路图(SIM)

在SIM卡接口的电路设计中，为了确保SIM卡的良好的功能性能和不被损坏，在电路设计中建议遵循以下设计原则：

1. SIM卡座与模块距离摆件不能太远，越近越好，尽量保证SIM卡信号线布线不超过20cm。
2. SIM卡信号线布线远离RF线和VBAT电源线。
3. 为了防止可能存在的USIM_CLK信号对USIM_DATA信号的串扰，两者布线不要太靠近，在两条走线之间增加地屏蔽。且对USIM_RST_N信号也需要地保护。
4. 为了保证良好的ESD保护，建议加TVS管，并靠近SIM卡座摆放。选择的ESD器件寄生电容不大于50pF。在模块和SIM卡之间也可以串联22欧姆的电阻用以抑制杂散EMI，增强ESD防护。SIM卡的外围电路必须尽量靠近SIM卡座。

3.9. LDO 输出

管脚名	类型	序号	描述
VDD_EXT	PO	24	固定输出 1.8V 或者 3.3V,驱动能力 4mA，仅能做外部上拉用

注意：

- VDD_EXT 不建议给外设供电，仅能做外部上拉用

Luat 上海合宙

3.10. 功能管脚

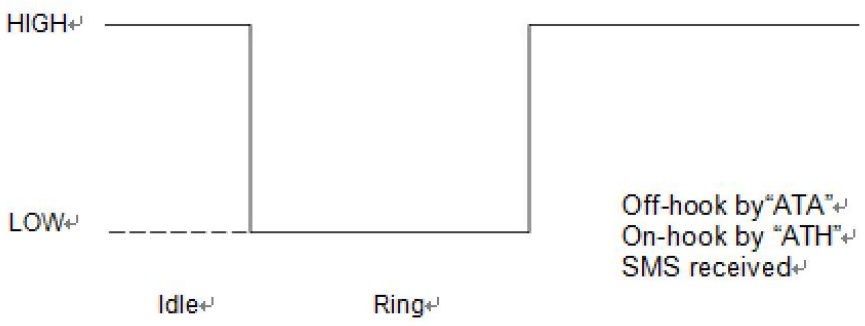
3.10.1. MAIN_RI

管脚名	类型	序号	电压域	作用
MAIN_RI	DO	20	LDOAON	振铃信号，唤醒输出管脚，用于唤醒AP

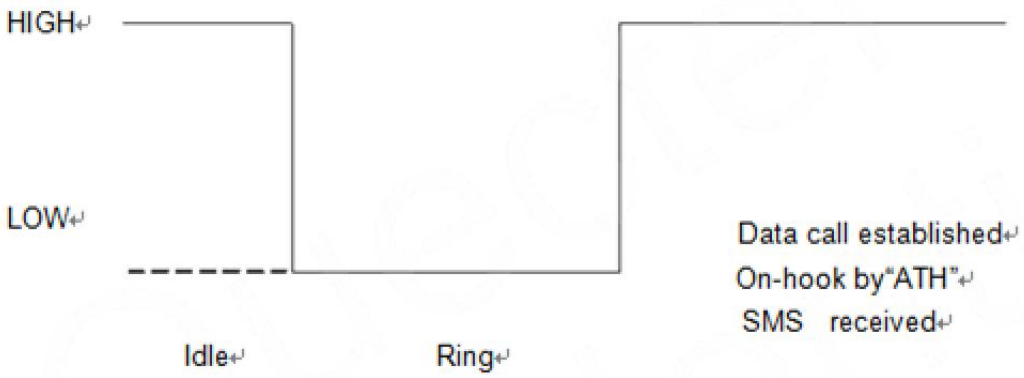
表格 10：MAIN_RI 信号动作

状态	MAIN_RI 应答
待机	高电平
语音呼叫	变为低电平，之后： （1） 通话建立时变为高电平 （2） 使用AT命令 ATH挂断语音，MAIN_RI变为高电平 （3） 呼叫方挂断，MAIN_RI首先变为高电平，然后拉为低电平持续 120ms，收到自动回复 URC信息“NO CARRIER”，之后再变为高电平 （4） 收到短信时变为高电平
数据传输	变为低电平，之后： 1. 数据连接建立时变为高电平 2. 使用AT命令 ATH挂断数据连接，MAIN_RI变为高电平 3. 呼叫方挂断，MAIN_RI首先变为高电平，然后拉为低电平持续 120ms，收到自动回复 URC信息“NO CARRIER”，之后再变为高电平 4. 收到短信时变为高电平
短信	当收到新的短信，MAIN_RI变为低电平，持续 120ms，再变为高电平
URC	某些 URC信息可以触发MAIN_RI拉低 120ms

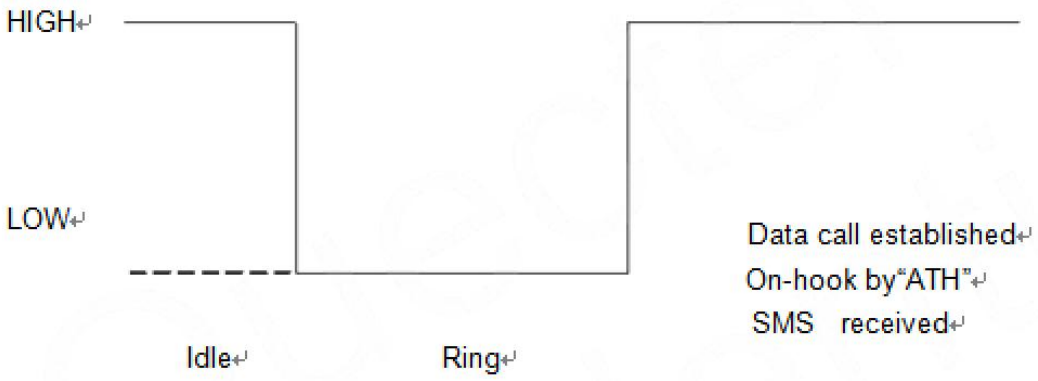
如果模块用作主叫方，MAIN_RI 会保持高电平，收到 URC 信息或者短信时除外。而模块用作被叫方时，MAIN_RI 的时序如下所示：



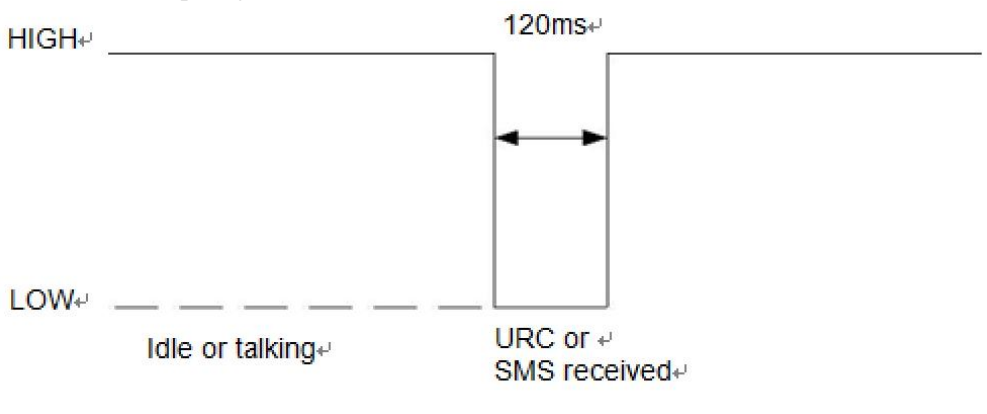
图表 11：语音呼叫时模块用作被叫方 MAIN_RI 时序



图表 12：数据呼叫时模块用作被叫方 MAIN_RI 时序



图表 13：模块主叫时 MAIN_RI 时序



图表 14：收到 URC 信息或者短信时 MAIN_RI 时序

3.10.2. MAIN_DTR

管脚名	类型	序号	电压域	作用
MAIN_DTR	DI	19	LDOAON	模块休眠唤醒管脚，拉高允许模块进入休眠模式；在休眠模式下，拉低可唤醒模块

模块支持两种睡眠模式：

睡眠模式 1：发送 AT+CSCLK=1，通过 MAIN_DTR 管脚电平控制模块是否进入睡眠

睡眠模式 2：发送 AT+CSCLK=2，模块在串口空闲一段时间后自动进入睡眠

具体参阅 3.20.2 睡眠模式

3.10.3. 状态指示灯

Air780EX 用一个管脚信号来指示网络的状态。如下两表分别描述了管脚定义和不同网络状态下的逻辑电平变化：

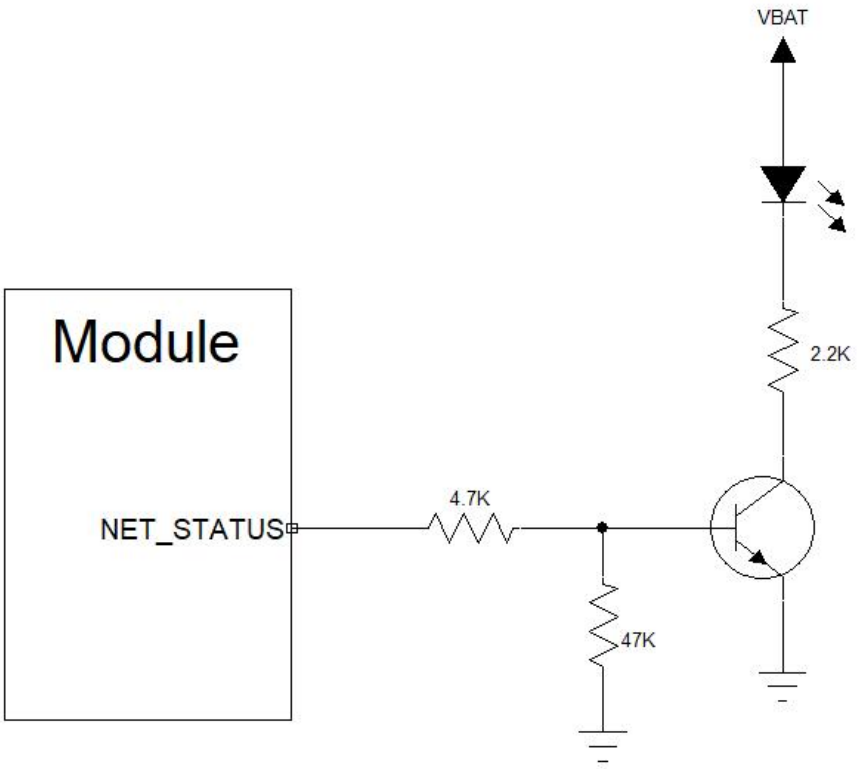
表格 11：网络指示管脚定义

管脚名	类型	序号	电压域	作用
NET_STATUS	DO	16	VDD_EXT	指示模块的网络运行状态

表格 12：指示网络管脚的工作状态

状态	管脚工作状态	网络状态
NET_STATUS	亮 0.2 秒，灭 1.8 秒	搜网状态
	亮 1.8 秒，灭 0.2 秒	待机
	亮 0.125 秒，灭 0.125 秒	数据传输状态 注意：该状态提示仅限于 PPP 拨号成功或者 AT 指令主动激活 PDP 成功，RNDIS 联网成功

指示灯参考电路如下图所示：



图表 15：指示灯参考电路

3.11. 省电功能

根据系统需求，有两种方式可以使模块进入到低功耗的状态。对于AT版本使用“AT+CFUN”命令可以使模块进入最少功能状态。

3.11.1. 最少功能模式/飞行模式

最少功能模式可以将模块功能减少到最小程度，此模式可以通过发送“AT+CFUN=<fun>”命令来设置。<fun>参数可以选择 0，1，4。

- 0：最少功能（关闭RF和SIM卡）；
- 1：全功能（默认）；
- 4：关闭RF发送和接收功能；

如果使用“AT+CFUN=0”将模块设置为最少功能模式，射频部分和 SIM 卡部分的功能将会关闭。而串口依然有效，但是与射频部分以及 SIM 卡部分相关的 AT 命令则不可用。

如果使用“AT+CFUN=4”设置模块，RF部分功能将会关闭，而串口依然有效。所有与RF部分相关的AT命令不可用。

模块通过“AT+CFUN=0”或者“AT+CFUN=4”设置以后，可以通过“AT+CFUN=1”命令设置返回到全功能状态。

3.11.2. 睡眠模式（慢时钟模式）

3.20.2.1 串口应用

串口应用下支持两种睡眠模式：

- 睡眠模式 1：通过 MAIN_DTR 管脚电平控制模块是否进入睡眠
- 睡眠模式 2：模块在串口空闲一段时间后自动进入睡眠

3.20.2.1.1 睡眠模式 1

开启条件：

发送 AT 指令 AT+CSCLK=1

模块进入睡眠：

控制 MAIN_DTR 脚拉高，模块会进入睡眠模式 1

模块退出睡眠：

拉低 MAIN_DTR 脚 50ms 以上，模块会退出睡眠模式可以接受 AT 指令

模块在睡眠模式 1 时的软件功能：

不响应 AT 指令，但是收到数据/短信/来电会有 URC 上报

HOST 睡眠时，模块收到数据/短信/来电如何唤醒 HOST：

MAIN_RI 信号

3.20.2.1.2 睡眠模式 2

开启条件：

发送 AT 指令 AT+CSLCK=2

模块进入睡眠：

串口空闲超过 AT+WAKETIM 配置的时间（默认 5s），模块自动进入睡眠模式 2

模块退出睡眠：

串口连续发送 AT 直到模块回应时即退出睡眠模式 2。不响应 DTR 管脚中断唤醒

模块在睡眠模式 2 时的软件功能：

不响应 AT 指令，但是收到数据/短信/来电会有 URC 上报

HOST 睡眠时，模块收到数据/短信/来电如何唤醒 HOST：

MAIN_RI 信号

Luat 上海合宙

3.20.2.2 USB 应用

开启条件：

USB HOST 必须支持 USB suspend/resume

模块进入睡眠：

HOST 发起 USB suspend

模块退出睡眠：

HOST 发起 USB resume

HOST 睡眠时，模块收到数据/短信/来电如何唤醒 HOST：

MAIN_RI 信号

3.12. 模式切换汇总

表格 13：模式切换汇总

当前模式	下一模式		
	关机	正常模式	睡眠模式
关机	/	使用 PWRKEY 开机	/
正常模式	使用 PWRKEY 管脚，或 VBAT 电压低于关机电压	/	软件调用睡眠接口，AT 版本不做动作 30s 自动休眠
睡眠模式	使用 PWRKEY 管脚，或 VBAT 电压低于关机电压	GPIO 管脚中断、定时器、接收短信或网络数据	/

具体的功耗数据请查询 5.4 功耗 章节。

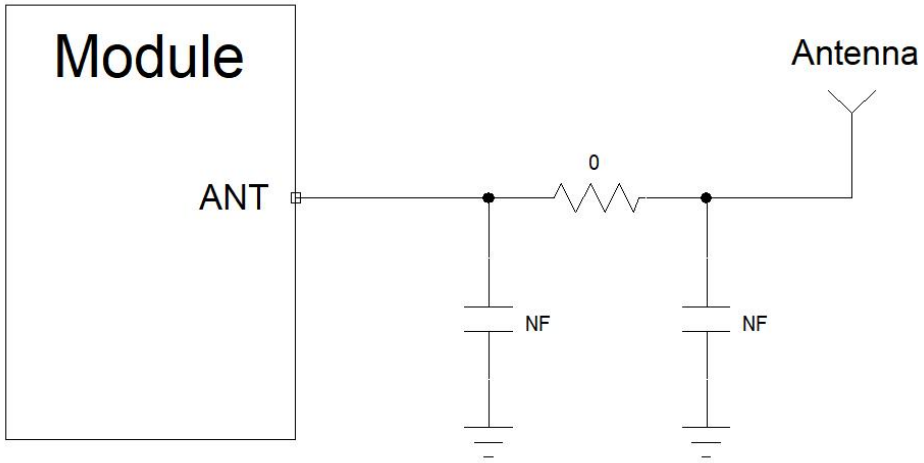
4. 射频接口

天线接口管脚定义如下：

表格 14：RF_ANT 管脚定义

管脚名	序号	描述
LTE_ANT	35	LTE 天线接口

4.1. 射频参考电路



图表 16：射频参考电路

注意：

- 连接到模块RF天线焊盘的RF走线必须使用微带线或者其他类型的 RF走线，阻抗必须控制在50欧姆左右。
- 在靠近天线的地方预留π型匹配电路，两颗电容默认不贴片，电阻默认贴0欧姆，待天线厂调试好天线以后再贴上实际调试的匹配电路；
- Luat模块阻抗线及天线设计建议：https://doc.openluat.com/article/2430

4.2. RF 输出功率

表格 15：RF 传导功率

频段	最大	最小

LTE FDD B1/B3/B5/B8	23dBm +-2dB	<-44dBm
LTE TDD B34/38/B39/B40/B41	23dBm +-2dB	<-42dBm

4.3. RF 传导灵敏度

表格 16：RF 传导灵敏度

频段	接收灵敏度
LTE FDD B1(10M)	< -99dBm
LTE FDD B3(10M)	< -99dBm
LTE FDD B5(10M)	< -99dBm
LTE FDD B8(10M)	< -99dBm
LTE TDD B34(10M)	< -100dBm
LTE TDD B38(10M)	< -99dBm
LTE TDD B39(10M)	< -100dBm
LTE TDD B40(10M)	< -99dBm
LTE TDD B41(10M)	< -99dBm

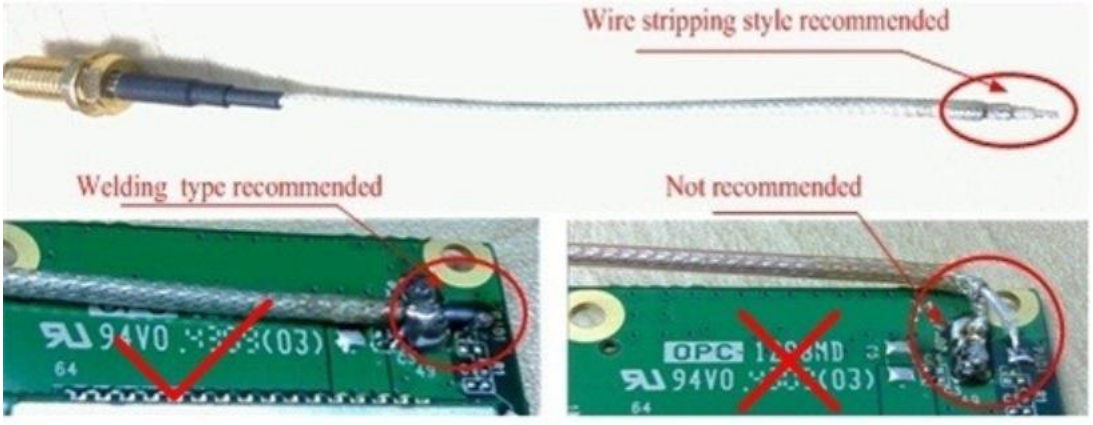
4.4. 工作频率

3GPP 频段	发送	接收	单位
LTE-FDD B1	1920~1980	2110~2170	MHz
LTE-FDD B3	1710~1785	1805~1880	MHz
LTE-FDD B5	824~849	869~894	MHz

LTE-FDD B8	880~915	925~960	MHz
LTE-TDD B34	2010~2025	2010~2025	MHz
LTE-TDD B38	2570~2620	2570~2620	MHz
LTE-TDD B39	1880~1920	1880~1920	MHz
LTE-TDD B40	2300~2400	2300~2400	MHz
LTE-TDD B41	2555~2655	2555~2655	MHz

4.5. 推荐 RF 焊接方式

如果连接外置天线的射频连接器是通过焊接方式与模块相连的，请务必注意连接线的剥线方式及焊接方法，尤其是地要焊接充分，请按照下图中正确的焊接方式进行操作，以避免因焊接不良引起线损增大。



图表 17：射频焊接方式建议

5. 电器特性，可靠性，射频特性

5.1. 绝对最大值

下表所示是模块数字、模拟管脚的电源供电电压电流最大耐受值。

表格 17：绝对最大值

参数	最小	最大	单位
V_{BAT}	-0.3	4.7	V
VBUS	-0.3	5.5	V
电源供电峰值电流	0	1.5	A
电源供电平均电流（TDMA一帧时间）	0	0.7	A
数字管脚处电压	-0.3	3.6	V
模拟管脚处电压(ADC)	-0.3	3.6	V

5.2. 推荐工作条件

表格 18：推荐工作条件

参数	最小	典型	最大	单位
V_{BAT}	3.3	3.8	4.3	V
VBUS	3.3	5.0	5.25	V

5.3. 工作温度

表格 19：工作温度

温度	最低	典型	最高	单位
正常工作温度	-35	25	75	℃
受限工作温度	-40~-35		75~85	℃
存储温度	-45		90	℃

5.4. 功耗

5.4.1. 模块工作电流

测试仪器：综测仪 R&S CMW500，程控电源 安捷伦 66319D

测试条件：VBAT=3.8V，环境温度 25℃，插入白卡，连接综测仪 CMW500

参数	测试条件		最小	典型	最大	单位
I_{VBAT}	漏电流	第一次上电		1		uA
		开机后关机（RTC 正常工作）		1		uA
	休眠待机电流	LTE-FDD @PF=32		1.2		mA
		LTE-FDD @PF=64		0.68		mA
		LTE-FDD @PF=128		0.43		mA
		LTE-FDD @PF=256		0.33		mA
		LTE-TDD @PF=32		1.12		mA
		LTE-TDD @PF=64		0.68		mA
		LTE-TDD @PF=128		0.43		mA
		LTE-TDD @PF=256		0.35		mA
	空闲模式电流	LTE-FDD @PF=64		3.78		mA
		LTE-TDD @PF=64		3.77		mA
	飞行模式 AT+CFUN=4，AT+CSCLK=3			62		uA
	LTE-FDD B1 CH300 BW=10M	TX power = 23dbm		424		mA
	LTE-FDD B3 CH1575	TX power = 23dbm		406		mA

	BW=10M					
	LTE-FDD B5 CH2525 BW=10M	TX power = 23dbm		389		mA
	LTE-FDD B8 CH3625 BW=10M	TX power = 23dbm		434		mA
	LTE-TDD B34 CH36275 BW=10M	TX power = 23dbm		172		mA
	LTE-TDD B38 CH38000 BW=10M	TX power = 23dbm		234		mA
	LTE-TDD B39 CH38450 BW=10M	TX power = 23dbm		164		mA
	LTE-TDD B40 CH39150 BW=10M	TX power = 23dbm		263		mA
	LTE-TDD B41 CH40620 BW=10M	TX power = 23dbm		236		mA

5.4.2. 实网环境功耗

模块联网功耗数据

模块低功耗模式下联网连接服务器定时心跳测试，模拟实际应用下的定时上报场景下功耗，从而能够估算出电池的使用时间。

测试条件：移动网络 B34 RSRP=48（中等强度）供电 4V；TCP 连接 XX 分钟自动心跳包								
	平均功耗 mA（5分心跳）	心跳包发送		休眠平均功耗		500mAH 电池待机（天）		
		功耗mA	耗电电量uAH	功耗mA	耗电电量 uAH（5分钟间隔）	5分钟上报间隔	1小时上报间隔	24小时上报间隔
AT+POWERMODE=”PRO”	0.79	37	16.4	0.599	47.9	26	35.2	36.2
AT+POWERMODE=”SRD”	0.58	36	16.2	0.384	32.1	36	52	54
AT+POWERMODE=”PSM”	0.0028（无心跳）	\	\	\	\	104.4	1085	>10年

各阶段耗流(中等信号强度下实网测试测试)

阶段	平均电流	持续时间	总耗能
开机注册成功	19ma	4s	24uAH
发送数据（20字节）	36ma	1.2s	16.2uAH
发送数据 （20字节）	23.1ma	2.8s	18.3uAH

注意：

由于是实网测试，网络信号强度，注册频段，服务器响应时间都会对测试的值有较大影响，因此，此数据仅供参考。

超低功耗方案参考：https://doc.openluat.com/wiki/50

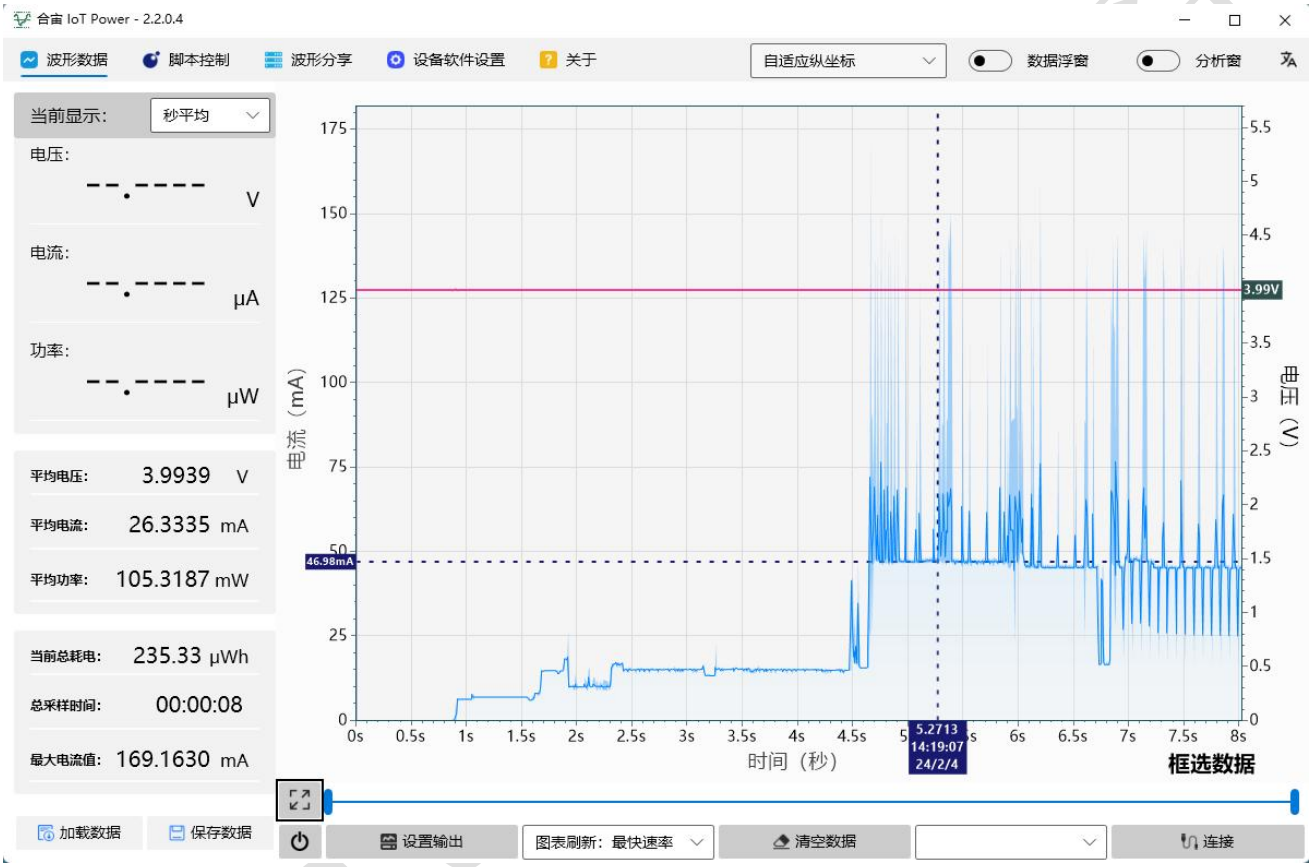
Luat 上海合宙

5.4.3. 实网环境功耗测试电流曲线

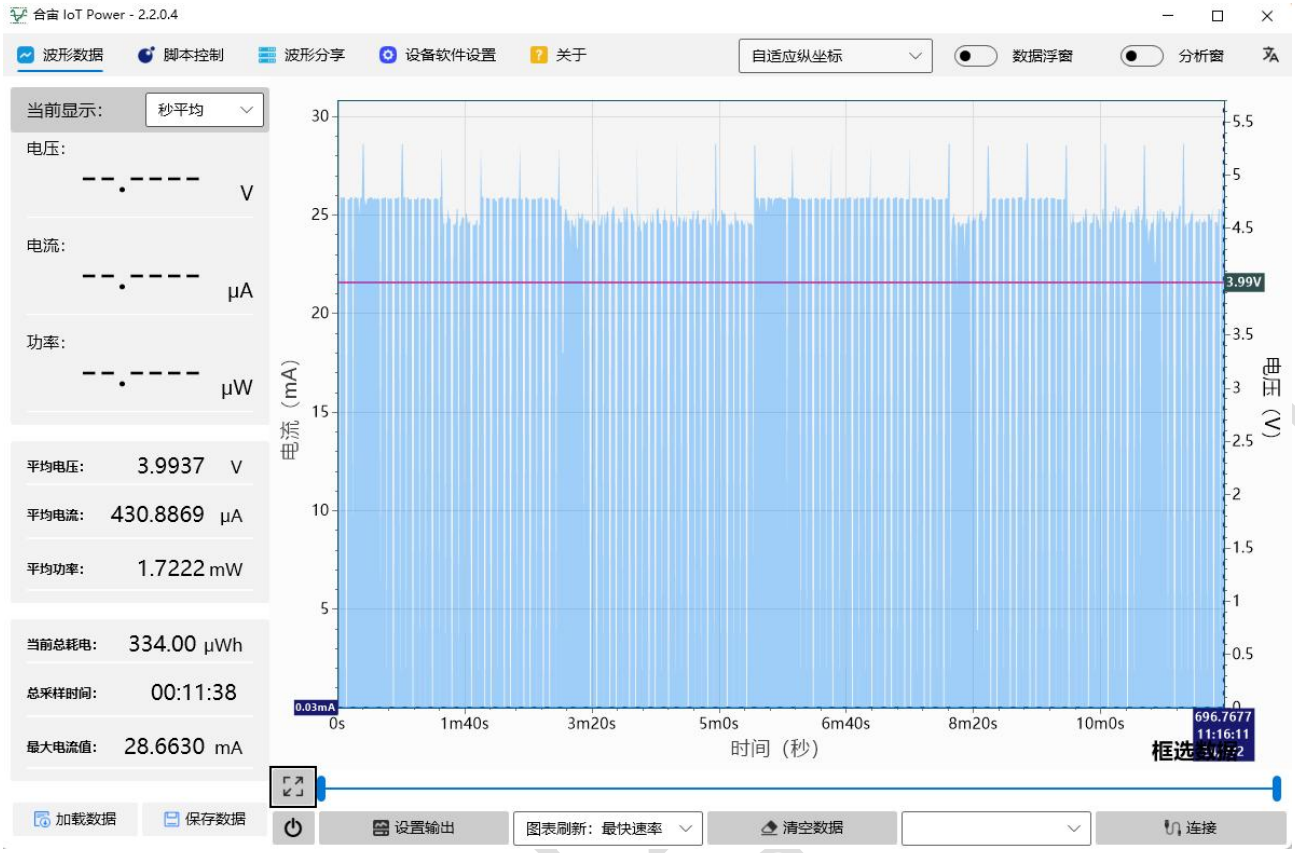
以下测试数据由 合宙功耗分析仪 Air9000 ，在实网环境下，测试生成。

Air9000 适用于各类电池供电产品的动态功耗测试，电流范围 0 到 5 安，最小分辨率 0.5 微安；电压范围 0 到 24 伏，最小分辨率 1 毫伏。更详细的介绍，请参考本链接文档：www.hezhouyibiao.com

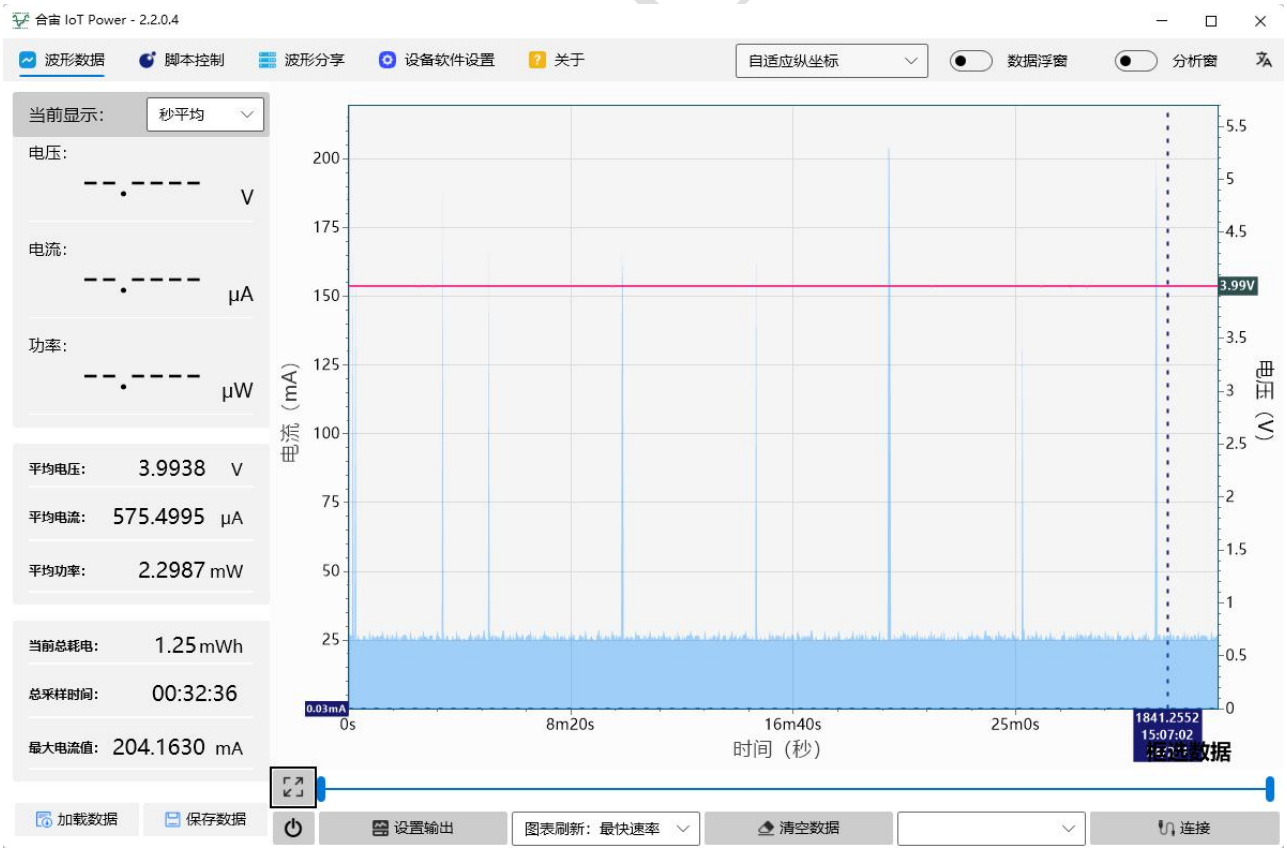
联通卡开机电流曲线



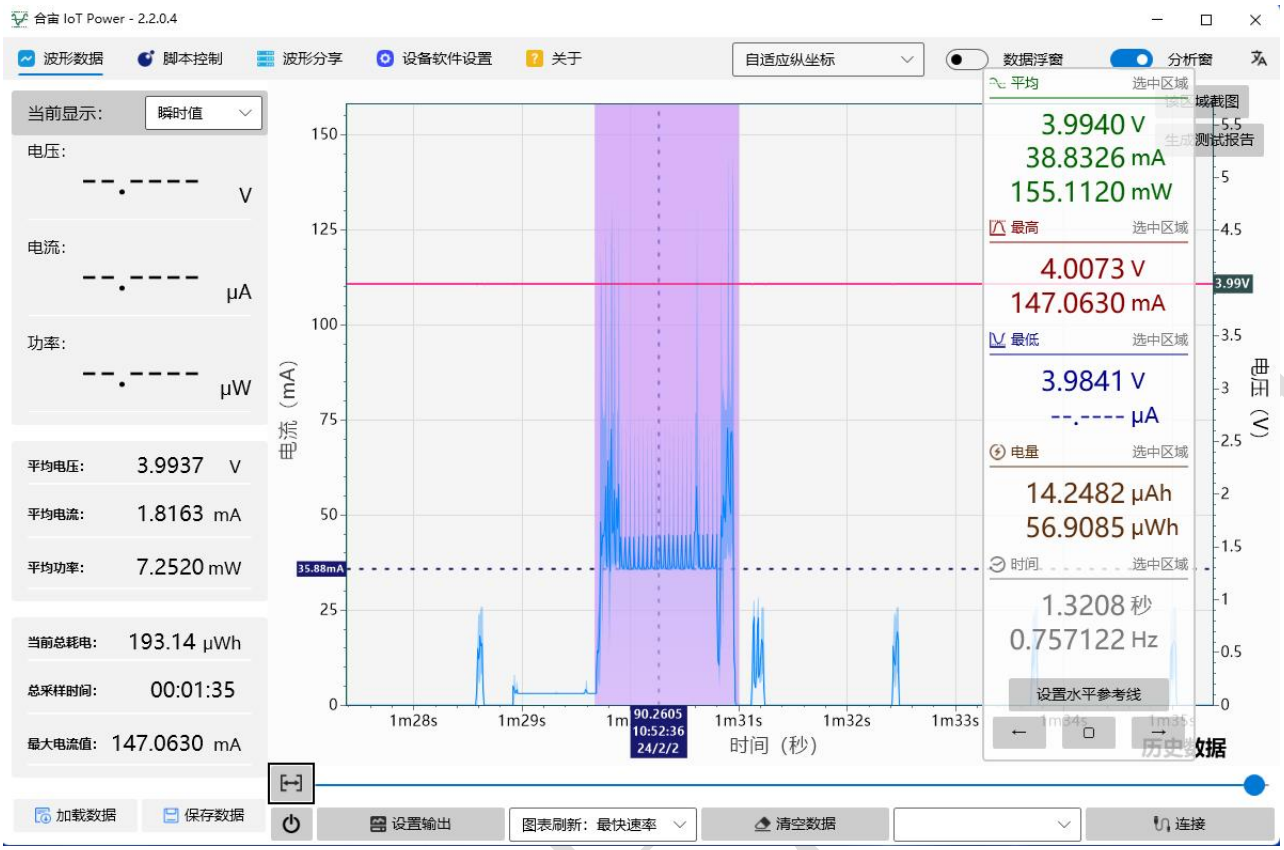
联通卡+500 微安模式+无业务数据交互



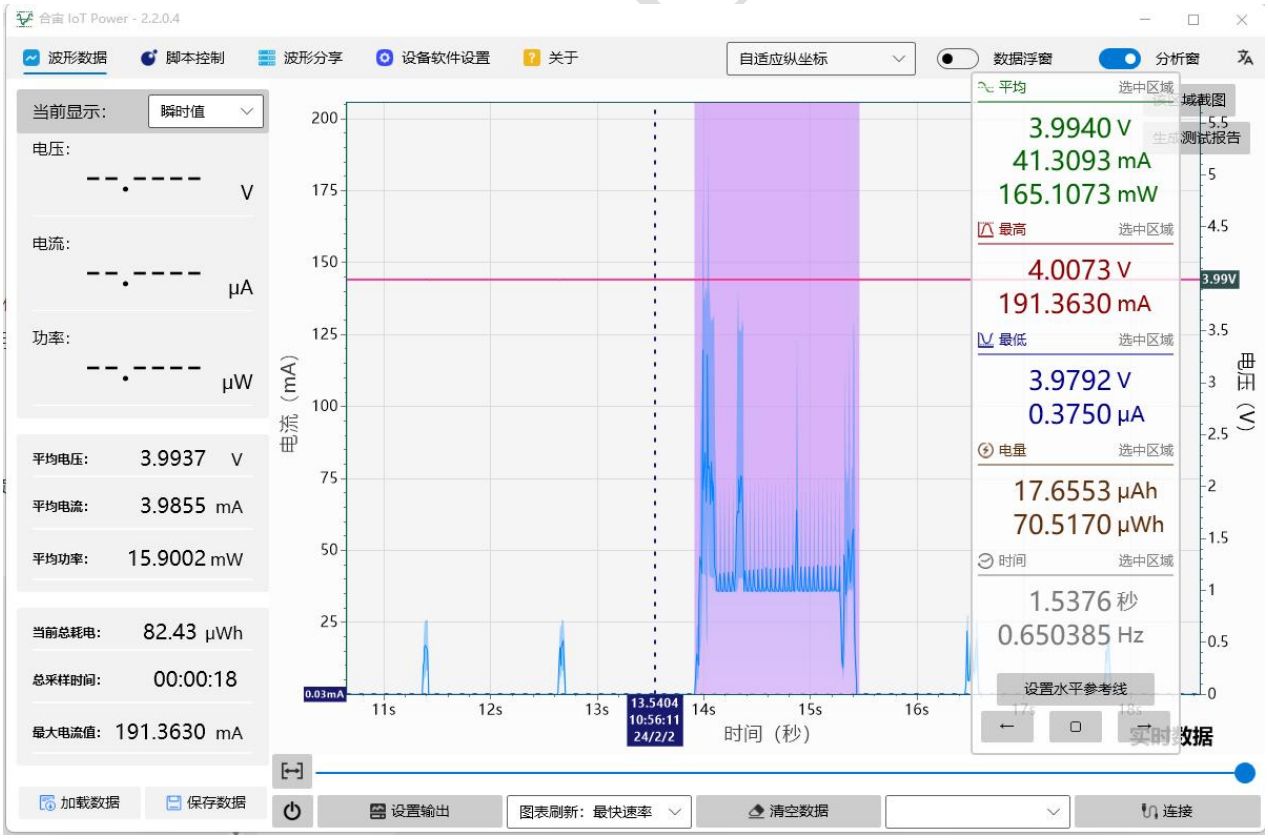
联通卡+500 微安模式+5 分钟心跳模式



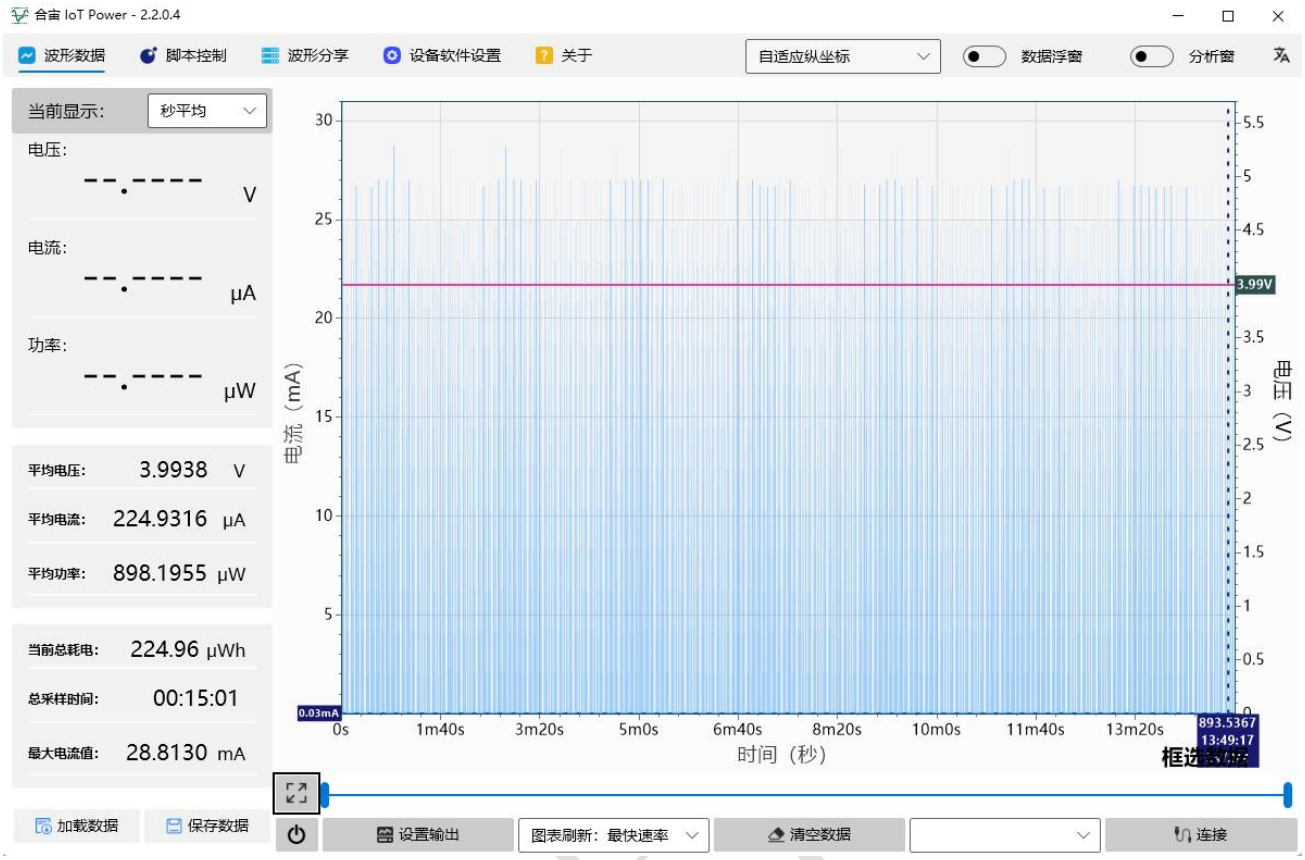
联通卡+500 微安模式+发送 20 字节数据



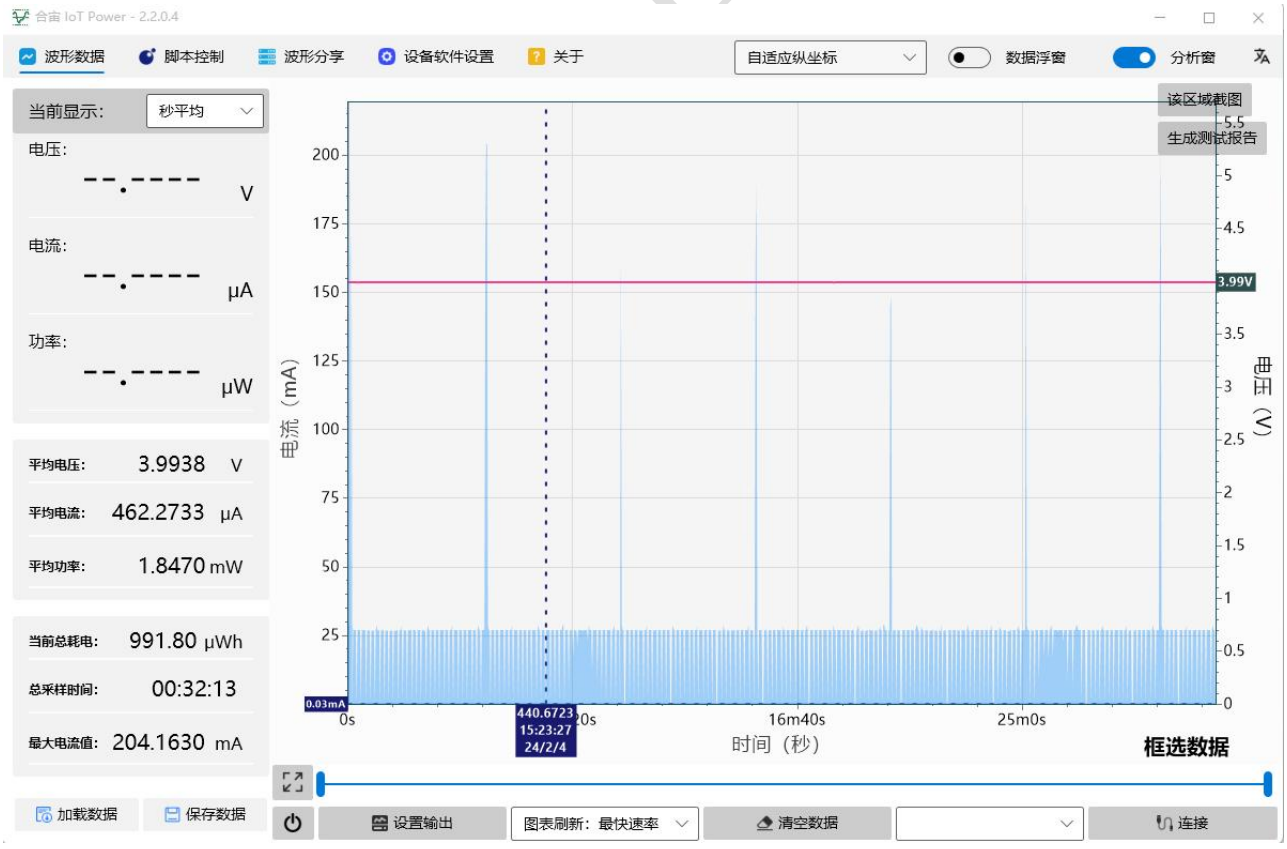
联通卡+500 微安模式+接收 20 字节数据



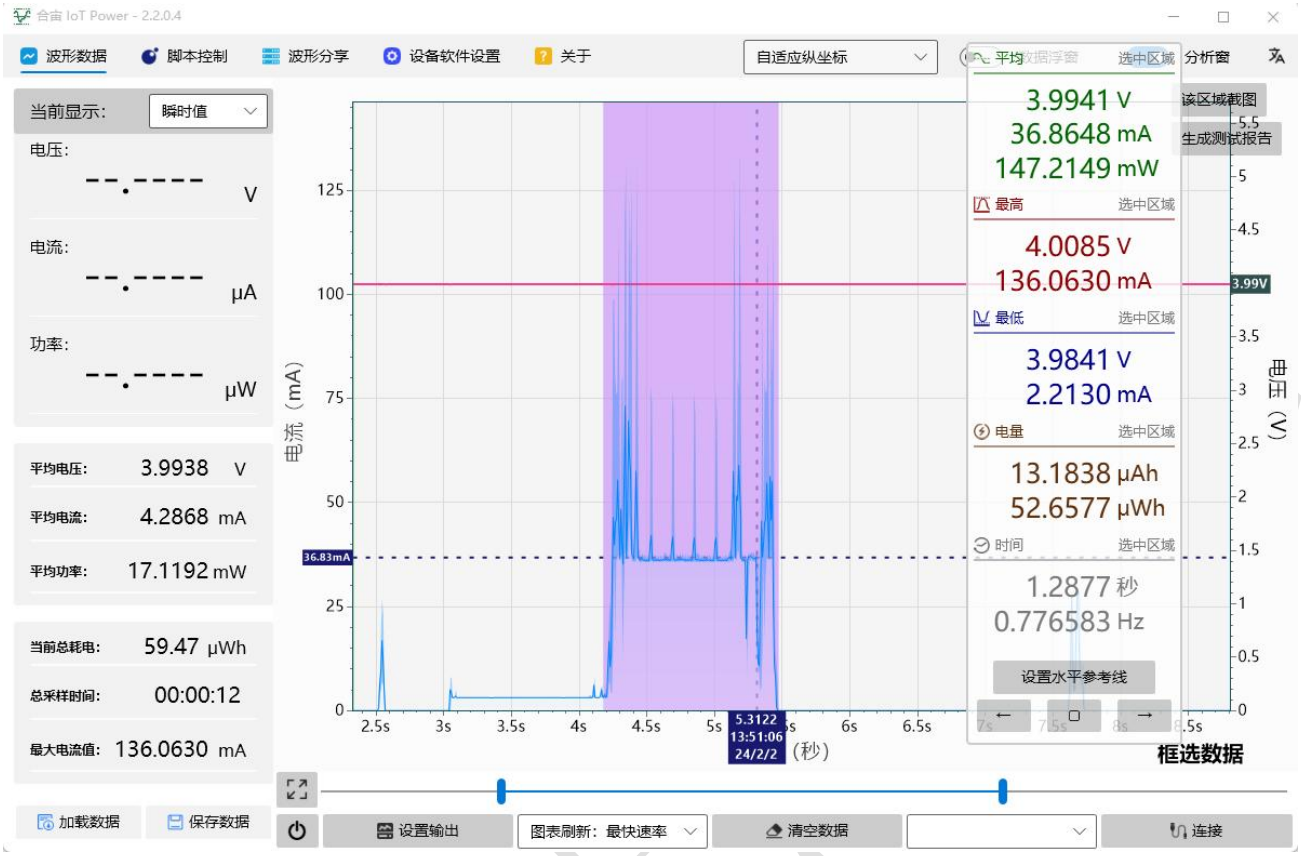
联通卡+200 微安模式+无业务数据交互



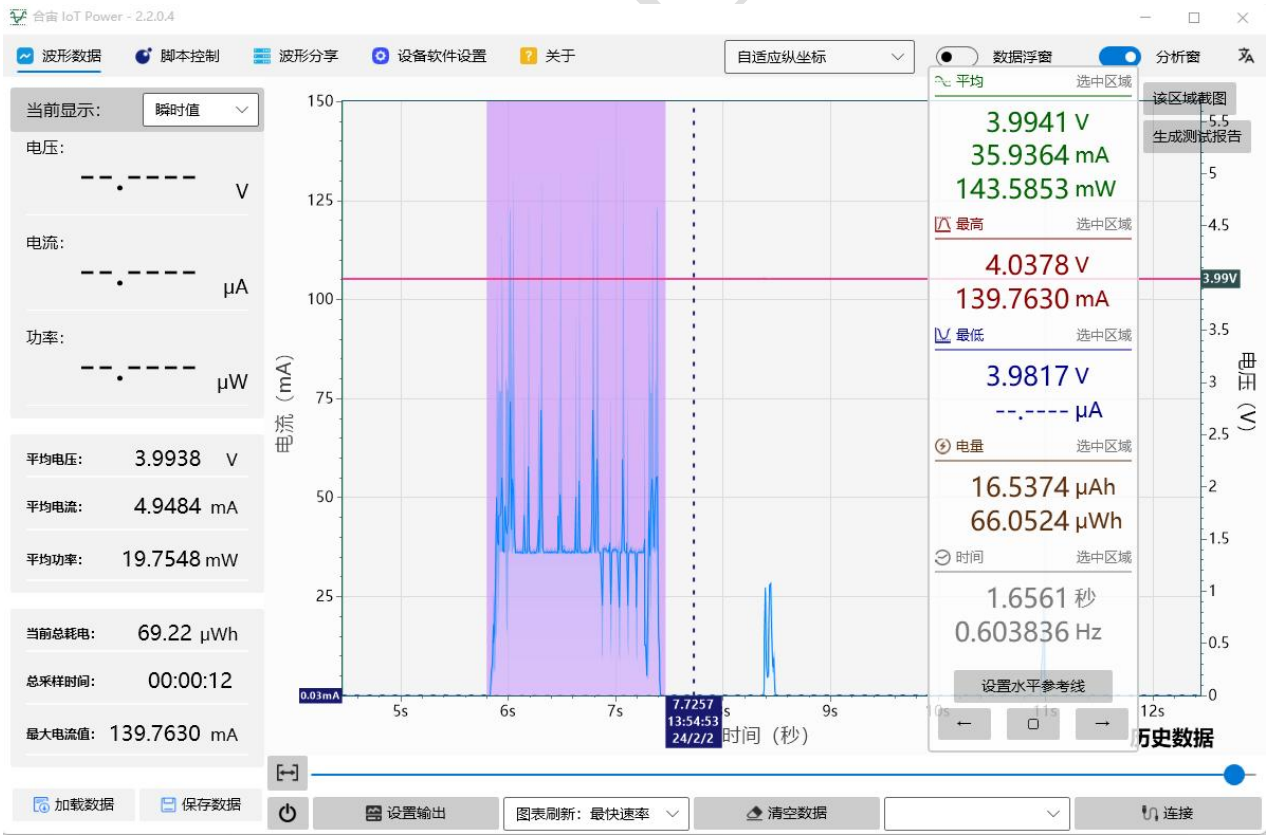
联通卡+200 微安模式+5 分钟心跳模式



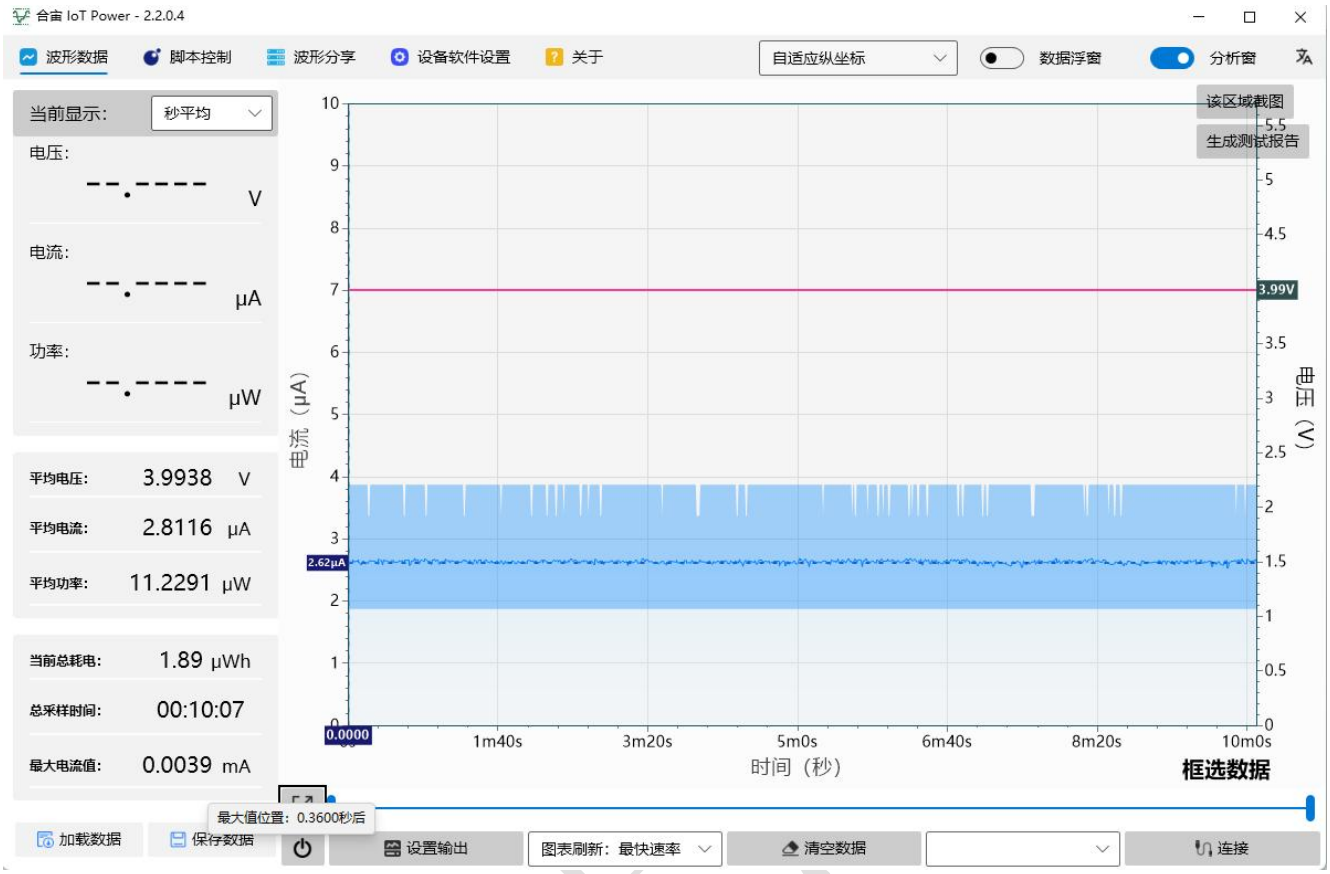
联通卡+200 微安模式+发送 20 字节数据



联通卡+200 微安模式+接收 20 字节数据



联通卡+2 微安模式+无业务数据交互



Luat

5.5. 静电防护

在模块应用中，由于人体静电，微电子间带电摩擦等产生的静电，通过各种途径放电给模块，可能会对模块造成一定的损坏，所以 ESD保护必须要重视，不管是在生产组装、测试，研发等过程，尤其在产品设计中，都应采取防 ESD保护措施。如电路设计在接口处或易受 ESD点增加 ESD保护，生产中带防ESD手套等。

下表为模块重点PIN脚的ESD耐受电压情况。

表格 20：ESD 性能参数（温度：25℃, 湿度：45%）

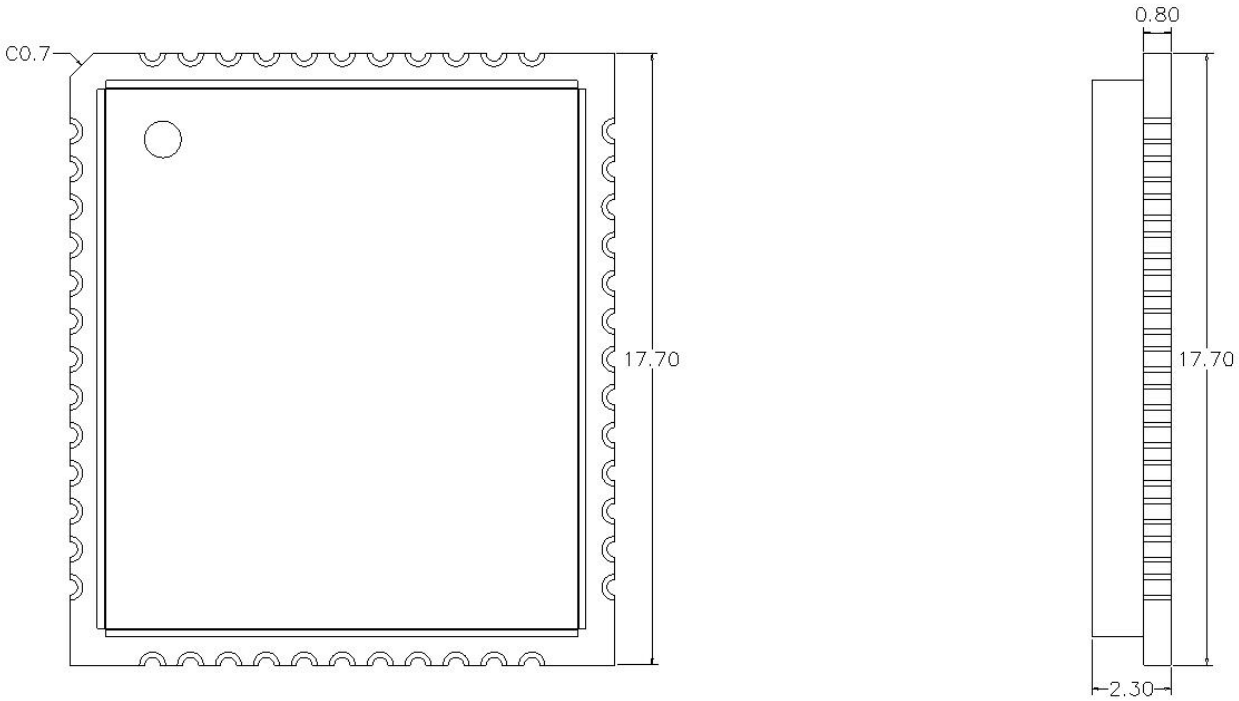
管脚名	接触放电	空气放电
VBAT,GND	±5KV	±10KV
LTE_ANT	±5KV	±10KV
Others	±0.5KV	±1KV

Luat 上海

6. 模块尺寸图

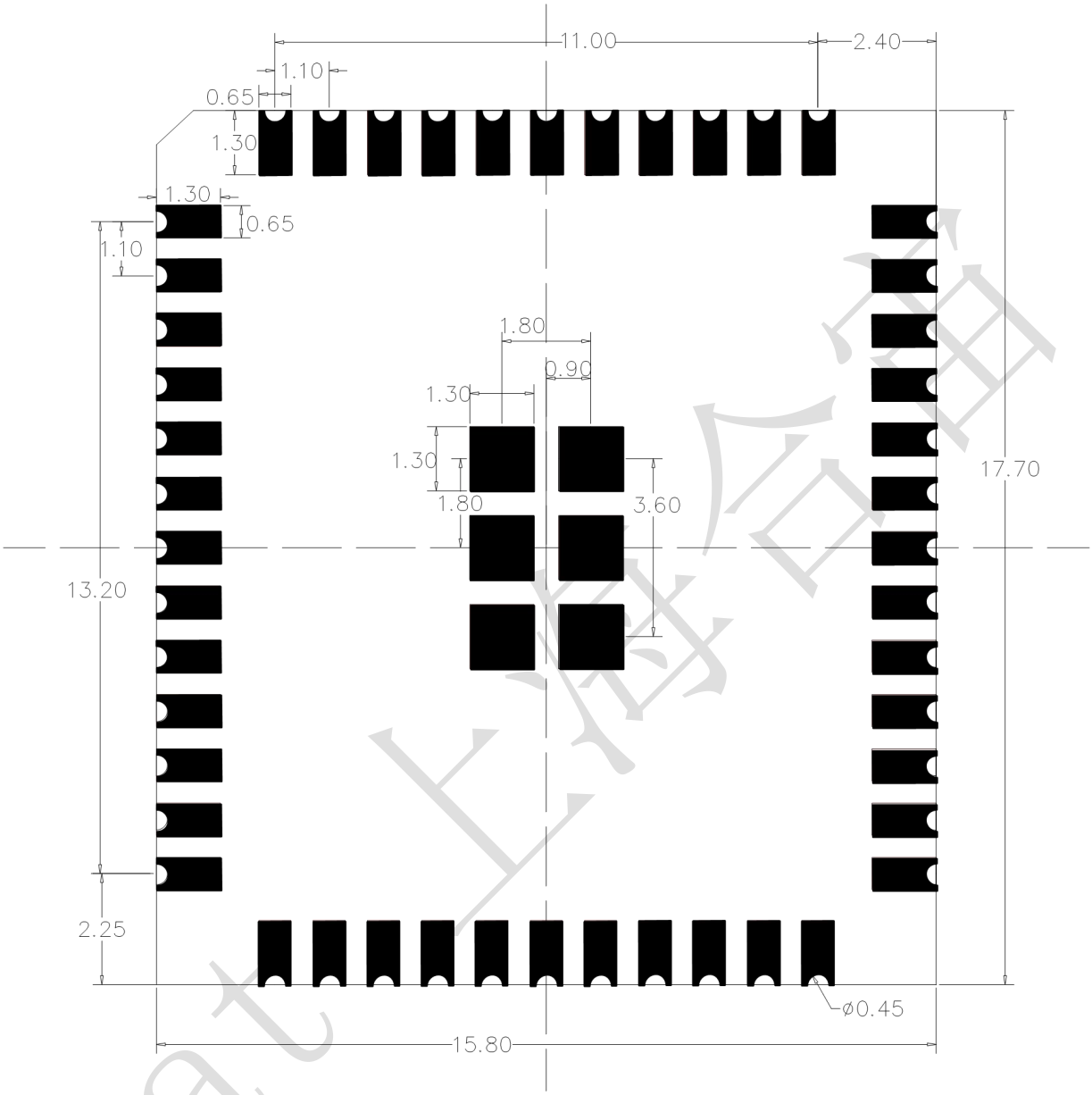
该章节描述模块的机械尺寸以及客户使用该模块设计的推荐封装尺寸。公差为+-0.2mm。

6.1. 机械尺寸



图表 18：俯视及侧视尺寸图（单位：毫米）

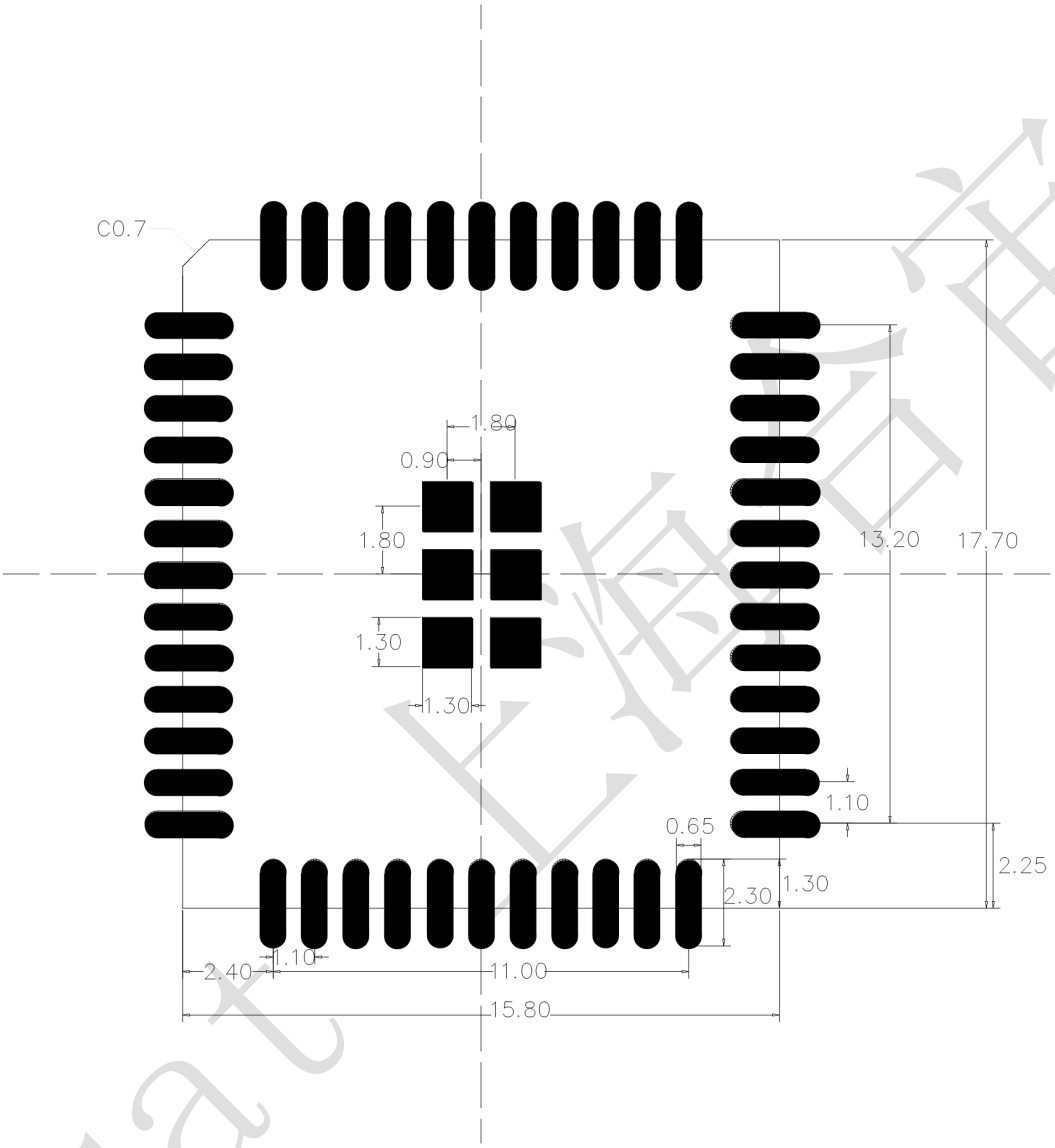
Luat



图表 19：底视尺寸图（单位：毫米）

Luat上海合宙

6.2. 推荐 PCB 封装



图表 20：正视图，Air780EX PCB 封装（单位：毫米）

注意：

1. **PCB** 板上模块和其他元器件之间的间距建议至少 **3mm**；
2. 请访问：https://www.openluat.com/ 来获取模块的原理图 PCB 封装库。

7. 存储和生产

7.1. 存储

Air780EX以真空密封袋的形式出货。模块的存储需遵循如下条件：

环境温度低于40摄氏度，空气湿度小于90%情况下，模块可在真空密封袋中存放12个月。

当真空密封袋打开后，若满足以下条件，模块可直接进行回流焊或其它高温流程：

- 模块环境温度低于30摄氏度，空气湿度小于60%，工厂在72小时以内完成贴片。
- 空气湿度小于10%

若模块处于如下条件，需要在贴片前进行烘烤：

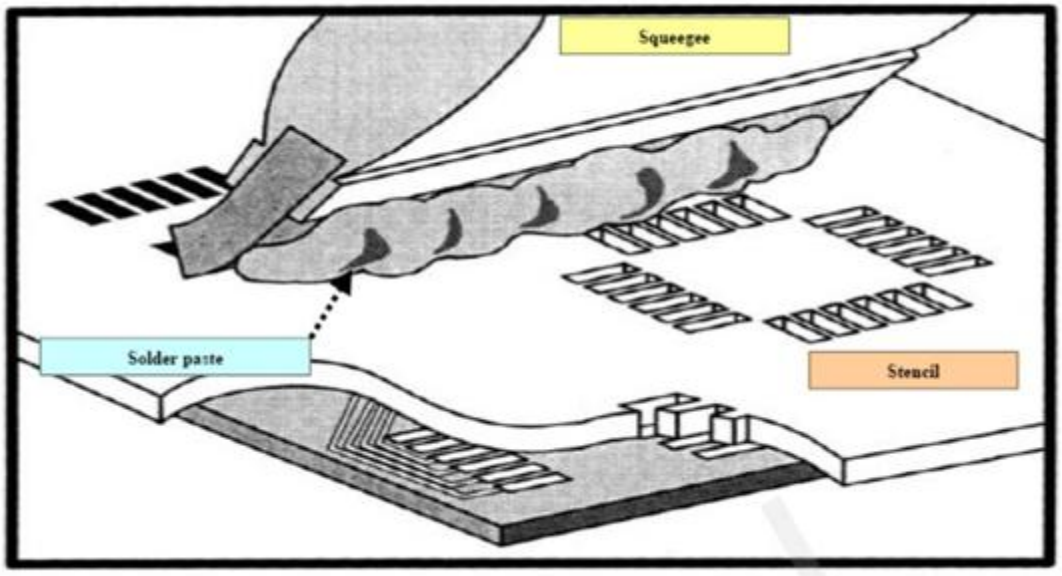
- 当环境温度为23摄氏度（允许上下5摄氏度的波动）时，湿度指示卡显示湿度大于10%
- 当真空密封袋打开后，模块环境温度低于30摄氏度，空气湿度小于60%，但工厂未能在72小时以内完成贴片
- 当真空密封袋打开后，模块存储空气湿度大于10%

如果模块需要烘烤，请在 125 摄氏度下（允许上下 5 摄氏度的波动）烘烤 48 小时。

注意：模块的包装无法承受如此高温，在模块烘烤之前，请移除模块包装。如果只需要短时间的烘烤，请参考 **IPC/JEDECJ-STD-033** 规范。

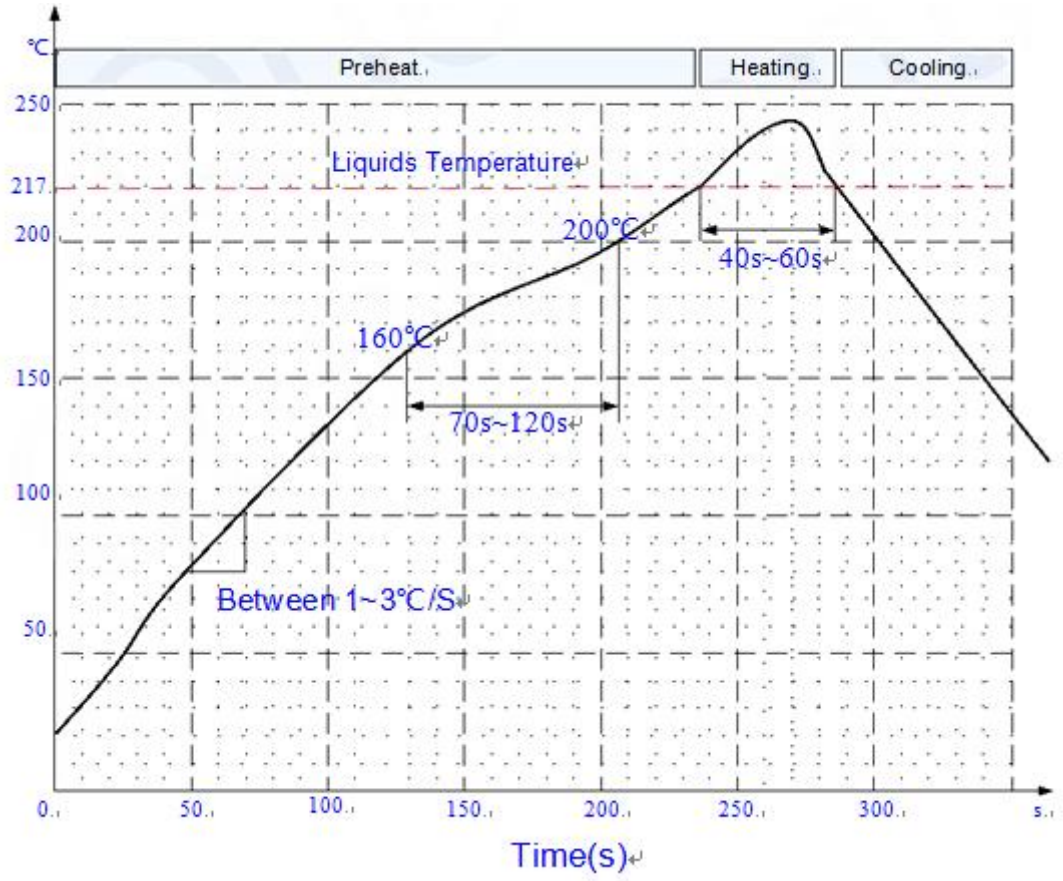
7.2. 生产焊接

用印刷刮板在网板上印刷锡膏，使锡膏通过网板开口漏印到 PCB上，印刷刮板力度需调整合适，为保证模块印膏质量，Air780EX模块焊盘部分对应的钢网厚度应为 0.2mm。



图表 21：印膏图

为避免模块反复受热损伤，建议客户 PCB板第一面完成回流焊后再贴模块。推荐的炉温曲线图如下图所示：



图表 22：炉温曲

8. 术语缩写

表格 21：术语缩写

术语	英文全称	中文全称
ADC	Analog to Digital Converter	模数转换器
bps	Bits Per Second	比特/秒
CTS	Clear to Send	清除发送
DFOTA	Differential Firmware Over-the-Air	无线差分固件升级
DTR	Data Terminal Ready	数据终端就绪
ESD	Electro Static discharge	静电放电
ESR	Equivalent Series Resistance	等效串联电阻
EVB	Evaluation Board	评估板

FDD	Frequency Division Duplex	频分双工
FTP	File Transfer Protocol	文件传输协议
FTPS	FTP-over-SSL	对常用的文件传输协议（FTP）添加传 输层安全（TLS）和安全套接层（SSL） 加密协议支持的扩展协议
GPIO	General Purpose Input Output	通用输入输出管脚
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
HTTP	Hypertext Transfer Protocol	超文本传输协议
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol over Secure Socket Layer	超文本传输安全协议
LCC	Leadless Chip Carriers	不带引脚的正方形封装
LGA	Land Grid Array	栅格阵列封装
LTE	Long Term Evolution	长期演进
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	消息队列遥测传输
MSL	Moisture Sensitivity Levels	湿度敏感等级
NITZ	Network Identity and Time Zone	网络标识和时区
NTP	Network Time Protocol	网络时间协议
PA	Power Amplifier	功率放大器
PCB	Printed Circuit Board	印制电路板
PCM	Pulse Code Modulation	脉冲编码调制
PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元
PMIC	Power Management IC	电源管理集成电路
PPP	Point-to-Point Protocol	点到点协议
RF	Radio Frequency	射频
RTS	Require To Send	请求发送
SMS	Short Message Service	短信
SSL	Secure Sockets Layer	安全套接层
TCP	Transmission Control Protocol	传输控制协议
TDD	Time Division Duplexing	时分双工
UART	Universal Asynchronous Receiver & Transmitter	通用异步收发机

UDP	User Datagram Protocol	用户数据报协议
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	通用移动通信系统
USB	Universal Serial Bus	通用串行总线
(U)SIM	(Universal) Subscriber Identity Module	（通用）用户身份识别模块
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio	电压驻波比

Luat 上海合宙