

# 详解 RS-485 上下拉电阻的选择

前言：RS-485 总线广泛应用于通信、工业自动化等领域，在实际应用中，通常会遇到是否需要加上下拉电阻以及加多大的电阻合适的问题，下面我们将对这些问题进行详细的分析。

## 一、为什么需要加上下拉电阻？

根据 RS-485 标准，当 485 总线差分电压大于+200mV 时，485 收发器输出高电平；当 485 总线差分电压小于-200mV 时，485 收发器输出低电平；当 485 总线上的电压在-200mV~+200mV 时，485 收发器可能输出高电平也可能输出低电平，但一般总处于一种电平状态，若 485 收发器的输出低电平，这对于 UART 通信来说是一个起始位，此时通信会不正常。

当 485 总线处于开路（485 收发器与总线断开）或者空闲状态（485 收发器全部处于接收状态，总线没有收发器进行驱动）时，485 总线的差分电压基本为 0，此时总线就处于一个不确定的状态。同时由于目前 485 芯片为了提高总线上的节点数，输入阻抗设计的比较高，例如输入阻抗为 1/4 单位阻抗或者 1/8 单位阻抗(单位阻抗为 12kΩ，1/4 单位阻抗为 48kΩ)，在管脚悬空时容易受到电磁干扰。

因此为了防止 485 总线出现上述情况，通常在 485 总线上增加上下拉电阻（通常 A 接上拉电阻，B 总线下拉电阻）。若使用隔离 RS-485 收发模块（例如 RSM485PCHT），由于模块内部具有上下拉电阻（对于 RSM485PCHT，内部上下拉电阻为 24kΩ），因此在模块外部一般不需要增加上下拉电阻。

## 二、什么情况下需要加上下拉电阻？

当遇到信号反射问题时，通常会通过增加匹配电阻来避免信号反射，以 1 对 1 通信为例，如图 1 所示。由于 485 总线通常使用特性阻抗为 120Ω 的双绞线，因此在 485 总线的首尾两端增加 120Ω 终端电阻来避免信号反射问题。

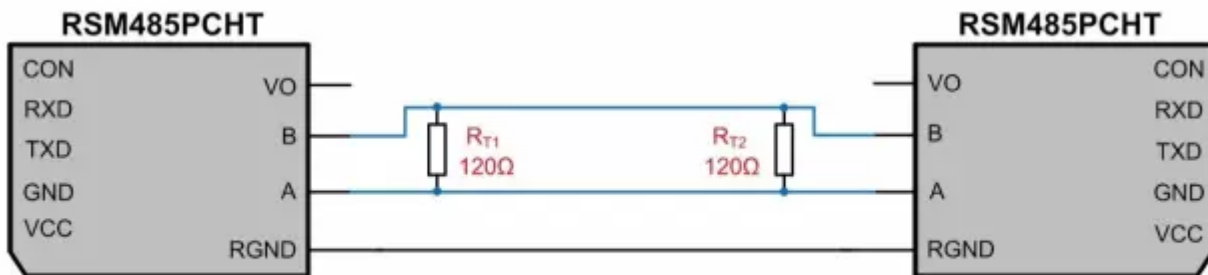


图1 两个RSM485PCHT模块通信电路

根据 RSM485PCHT 的具体参数（如表 1）可以得到如图 2 所示等效电路，其中  $R_{PU}$ 、 $R_{PD}$  为模块内部在 485 总线上加的上下拉电阻， $R_{IN}$  为模块的输入阻抗。

表1 RSM485PCHT参数

参数名称	测试条件	符号	参数值			单位
			min	typ	max	
输入电压	--	VCC	4.75	5.00	5.25	V
输出电压	5V 输入电压	VO	4.95	5.05	5.15	V
收发器输入阻抗	--	$R_{IN}$	120	150	--	k $\Omega$
内置上下拉电阻	--	$R_{PU}$ 、 $R_{PD}$	--	24	--	k $\Omega$
门限电平	--	$V_{AB}$	-200	--	+200	mV
节点数	--	n	2	--	64	个

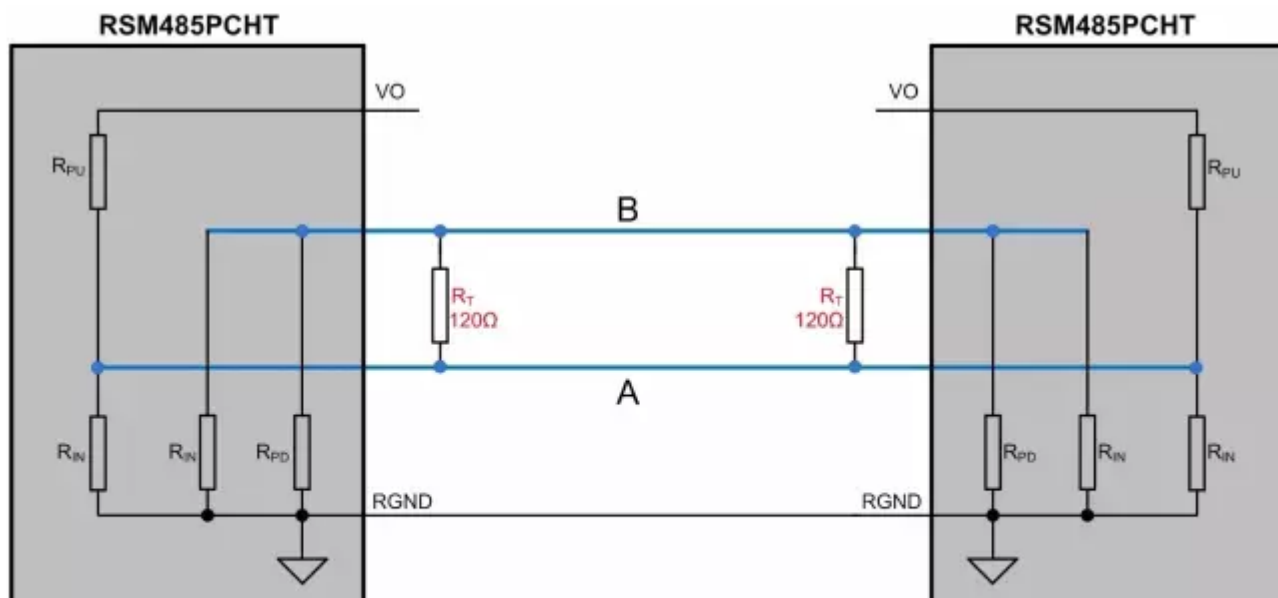


图2 RSM485PCHT通信等效示意图

当两个模块都处于接收状态时，可以根据基尔霍夫电流定律对节点 A 和节点 B 列出下列公式：

$$\frac{VO - V_A}{R_{PU} \parallel R_{PU}} = \frac{V_A - V_B}{R_T \parallel R_T} + \frac{V_A}{R_{IN} \parallel R_{IN}}$$

$$\frac{V_A - V_B}{R_T \parallel R_T} = \frac{V_B}{R_{PD} \parallel R_{PD}} + \frac{V_B}{R_{IN} \parallel R_{IN}}$$

$$R_{PU} = R_{PD}$$

根据上述公式可以计算 AB 之间的差分电压为：

$$V_A - V_B = \frac{VO}{R_{PU} \parallel R_{PU}} \times \frac{1}{\frac{2}{R_T \parallel R_T} + \frac{1}{R_{PU} \parallel R_{PU}} + \frac{1}{R_{IN} \parallel R_{IN}}} = \frac{5}{12k} \times \frac{1}{\frac{2}{60} + \frac{1}{12k} + \frac{1}{60k}} = 12.46mV$$

此时模块已处于不确定状态，模块接收器可能输出为高电平，也可能输出为低电平，这时就需要在模块外部增加上下拉电阻保证模块在空闲时不处于不确定状态。

### 三、上下拉电阻如何取？

假设模块的输出电源电压  $V_{IO}$  相同，由于  $RGND$  接在一起，因此可以认为模块内部的上拉电阻是并联在一起的，为了方便解释，对图 2 的电路进行整理，如图 3 所示，在模块外部增加上下拉电阻可以选择只增加一组，也可以选择在每个模块都增加上下拉电阻，为了解释方便，我们在 485 总线上增加一组上下拉电阻。

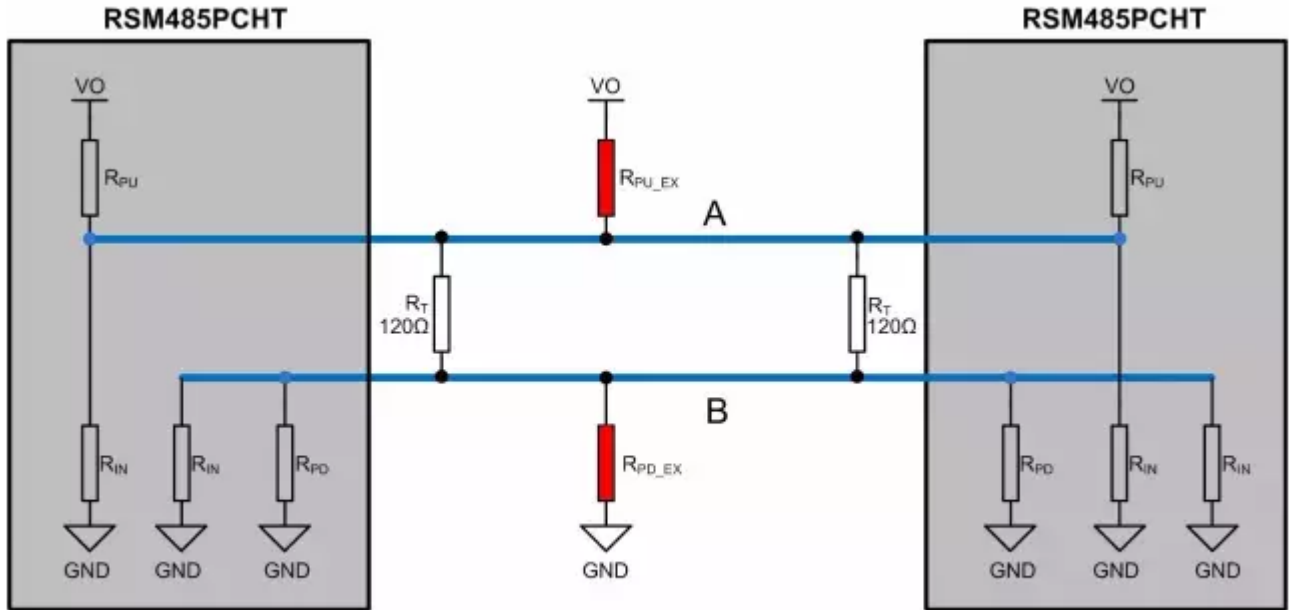


图3 RSM485PCHT通信等效电路图

$$V_A - V_B = \frac{VO}{R_{PU} \parallel R_{PU} \parallel R_{PU\_EX}} \times \frac{1}{\frac{2}{R_T \parallel R_T} + \frac{1}{R_{PU} \parallel R_{PU} \parallel R_{PU\_EX}} + \frac{1}{R_{IN} \parallel R_{IN}}} \geq 0.3V$$

其中：

- $R_{PU}$  为模块内部上拉电阻， $R_{PD}$  为模块内部的下拉电阻，本例中为  $24k\Omega$ ；
- $R_{IN}$  为模块接收器输入阻抗，本例取最小值为  $120k\Omega$ ；
- $R_T$  为终端电阻，本例取  $120\Omega$ ；
- $R_{PU\_EX}$  为模块外部所加的上拉电阻， $R_{PD\_EX}$  为模块外部所加的下拉电阻；

由于 RSM485PCHT 的门限电平为  $-200mV \sim +200mV$ ，一般留有  $100mV$  或  $200mV$  的电压裕量，本例留有  $100mV$  的电压裕量，根据前面所推导的差分电压公式，可以得到下面计算公式：

$$V_A - V_B = \frac{VO}{R_{PU} \parallel R_{PU} \parallel R_{PU\_EX}} \times \frac{1}{\frac{2}{R_T \parallel R_T} + \frac{1}{R_{PU} \parallel R_{PU} \parallel R_{PU\_EX}} + \frac{1}{R_{IN} \parallel R_{IN}}} \geq 0.3V$$

由于 RSM485PCHT 在供电电压范围为  $4.75V \sim 5.25V$ ，取  $VO=4.75V$ （最低输入电压  $VCC=4.75V$  情况下），可得：

$$R_{PU} \parallel R_{PU} \parallel R_{PU\_EX} \leq \frac{\frac{VO}{V_A - V_B} - 1}{\frac{2}{R_T \parallel R_T} + \frac{1}{R_{IN} \parallel R_{IN}}} = \frac{\frac{4.75}{0.3} - 1}{\frac{2}{60} + \frac{1}{60k}} = 444.78\Omega$$

由  $R_{PU}=24k\Omega$ ，可得  $R_{PU\_EX}=R_{PD\_EX}=461.9\Omega$ ，由于计算出的电阻值为最大值，因此可以选择在 485 总线上仅加一组  $410\Omega$  或  $390\Omega$  的上下拉电阻，或者加两组  $910\Omega$  上下拉电阻。

#### 四、如何验证上下拉电阻取值？

上述计算仅考虑了 485 总线空闲状态时不处于不确定状态，并没有考虑 485 收发器的驱动能力和所用元器件的功耗等问题。外部所加上下拉电阻越小，可以将 485 总线空闲状态差分电压保持的越高，但与此同时，终端电阻和上下拉电阻的功耗也越大，对 485 收发器的驱动能力要求也越高，当超过 485 收发器的驱动能力时，也会导致通信失败。

根据 RS-485 标准，当接收器的输入阻抗为单位阻抗时（最小为  $12k$ ），总线上最多可以接 32 个节点，485 的差分负载最大为  $54\Omega$ ，此时差分输出电压最小为  $1.5V$ 。

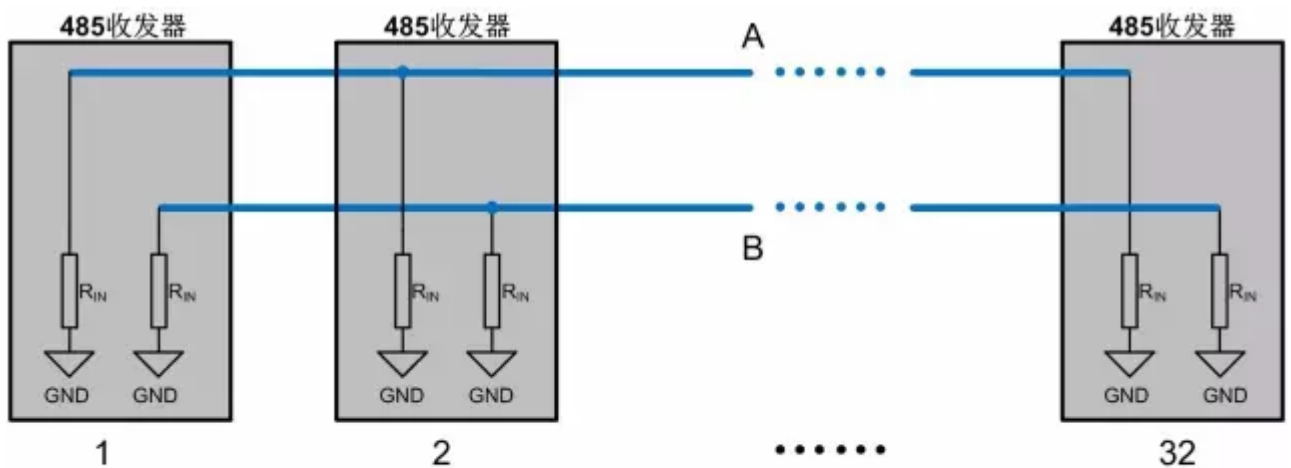


图4 485总线连接32个节点等效示意图

如图 4 所示，我们可以看到当 485 总线上接有 32 个节点时，总线 A 或 B 的共模负载为：

$$R_{LCM\_A} = R_{LCM\_B} = \frac{R_{IN}}{n} = \frac{12k}{32} = 375\Omega$$

由此可见，对于 RS-485 的标准来说，A 总线或 B 总线的最大共模负载为 375Ω。

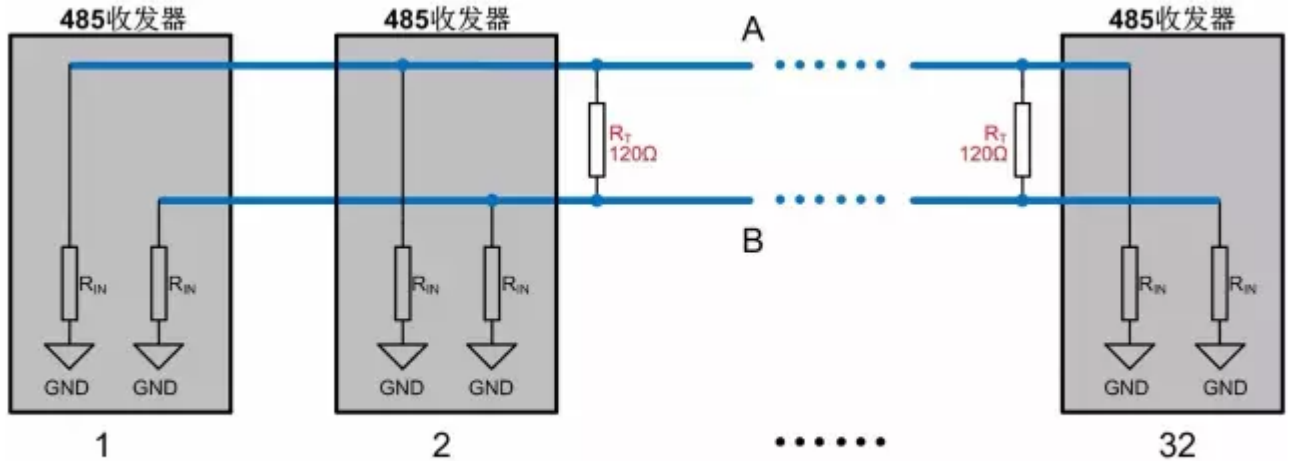


图5 485总线增加终端电阻等效示意图

当增加终端电阻后，可以发现 485 总线的共模负载没有发生变化，但差模负载急剧减小，差模负载为：

$$R_{LDM\_AB} = \frac{R_T}{2} \parallel \left( \frac{R_{IN}}{n} + \frac{R_{IN}}{n} \right) = 60 \parallel (375 + 375) = 55.56\Omega$$

因此当 485 总线的节点数达到最多以及增加终端电阻后，485 总线的差模负载仍大于 54Ω，根据 RS-485 的标准，差分输出电压最小为 1.5V。

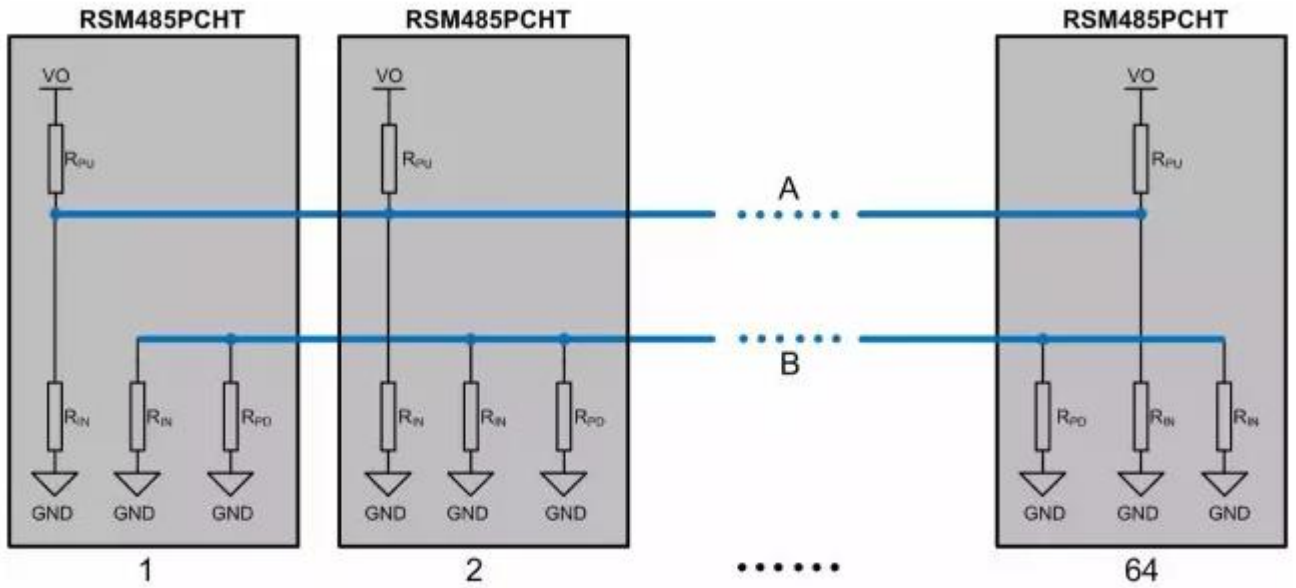


图6 RSM485PCHT 64个节点等效示意图

以 RSM485PCHT 为例说明增加上下拉电阻的情况，如图 6 所示，总线 A 或 B 的共模负载为：

$$R_{LCM\_A} = R_{LCM\_B} = \frac{R_N}{n} \parallel \frac{R_{PU}}{n} = \frac{120k}{64} \parallel \frac{24k}{64} = 1875 \parallel 375 = 312.5\Omega$$

实际测试上述情况，驱动输出的最小差分电压 3.02V，这个电压远大于 RS-485 标准规定的最小差分输出电压 1.5V。



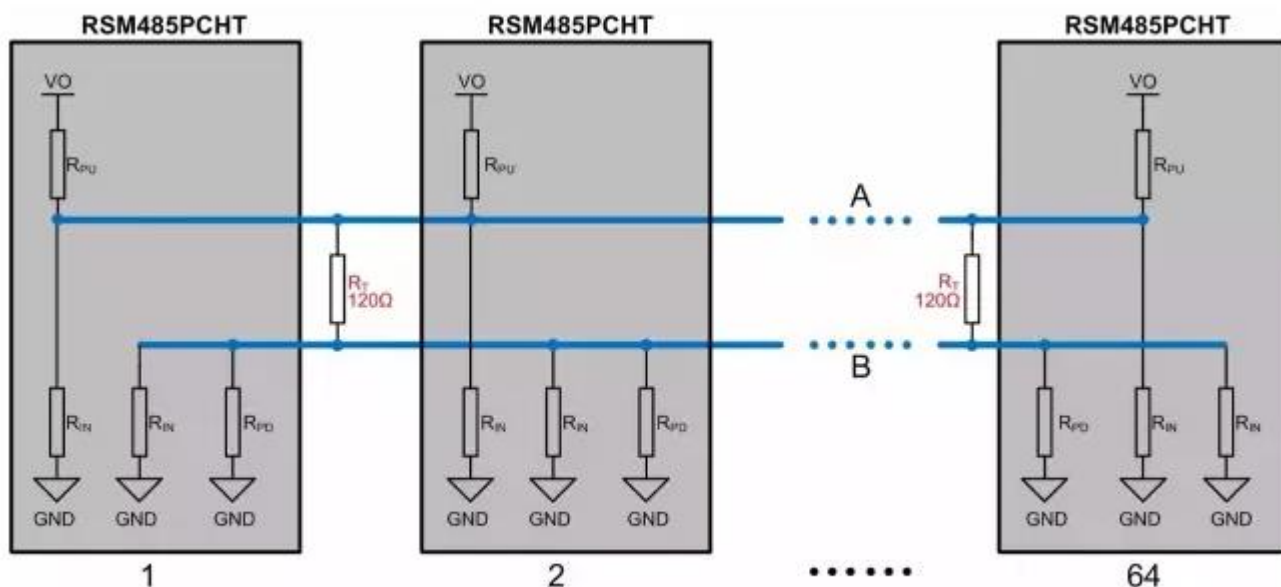


图7 RSM485PCHT 64个节点增加终端电阻示意图

当在 485 总线上增加终端电阻时，可以看出总线 A 或 B 的共模负载并没有发生变化，而差分阻抗有了较大的变化，此时差模负载为：

$$R_{LDM\_AB} = \frac{R_T}{2} \parallel \left( \frac{R_{IN}}{n} \parallel \frac{R_{PU}}{n} + \frac{R_{IN}}{n} \parallel \frac{R_{PD}}{n} \right) = 60 \parallel (312.5 + 312.5) = 54.74\Omega$$

计算出的差模负载要略大于 RS-485 标准规定的最大负载为 54Ω，我们对 RSM485PCHT 进行实际测试，其输出差分电压 1.58V，略大于标准规定的最小电压。

当差模负载为 54Ω（485 总线接两个 120Ω 终端电阻并且上拉电阻（下拉电阻）与收发器内阻的并联值为 270Ω）时，RSM485PCHT 的差分输出电压为 1.52V（实测值），基本和 RS-485 标准相同。当差模负载为 41.54Ω（485 总线接两个 120Ω 终端电阻并且上拉电阻（下拉电阻）与收发器内阻的并联值为 135Ω）时，RSM485PCHT 的差分输出电压在 1.17V 左右(实测值)，在这种情况下可以通信。但 485 收发芯片手册中规定的最大差模负载通常为 54Ω，即在 485 总线上增加两个 120Ω 后，上拉电阻（下拉电阻）与收发器输入阻抗的并联值应大于 270Ω。同时为了保证稳定可靠通信，一般 485 总线的上拉电阻（下拉电阻）与收发器输入阻抗的并联值应大于 375Ω。

## 五、总结

1. 通信线应选用屏蔽双绞线，屏蔽层应单点接大地；



2. 当我们没有遇到信号反射问题时，尽量不要使用终端电阻；
3. 如果使用终端电阻，我们可以通过上下拉电阻调节 485 总线在空闲状态的电压值，保证不处于门限电平（ $-200\text{mV}\sim+200\text{mV}$  或  $-200\text{mV}\sim-40\text{mV}$ ）范围内；
4. 当我们增加上下拉电阻时，上拉电阻（下拉电阻）与收发器输入阻抗的并联值应大于  $375\Omega$ 。