

RS485 和 CAN 总线布线规则及常见问题解答

德阳四星电子技术有限公司

关键词：RS485 布线、CAN 布线、RS485 终端电阻、RS485 支线问题、RS485 接口隔离

1、概述

笔者结合多年工程实践经验,与广大同行讨论一番关于 RS485 和 CAN 总线布线工程中的一些常见问题。本文讨论的内容适合基于这些物理接口的各种底层和上层协议总线,如 RS485、PROFIBUS、PPI、MPI、MODBUS、MODBUS+、CC-Link……; CAN、CAN FD、DeviceNet、CANopen、SDS、NMEA2000、SAE J1939、SAE J2284 等。

众所周知,RS485 和 CAN 是一种采用**双绞线**(特性阻抗为 120 欧姆)传输的、**手牵手**、**无支线**、总线两端必须有**终端电阻**的一种线性总线结构,如图 1-1 所示。

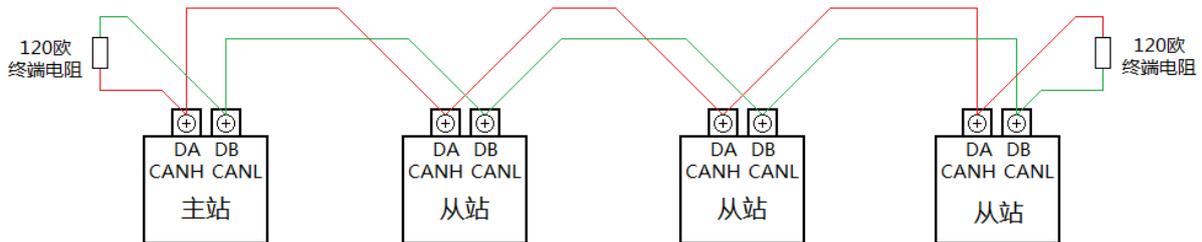
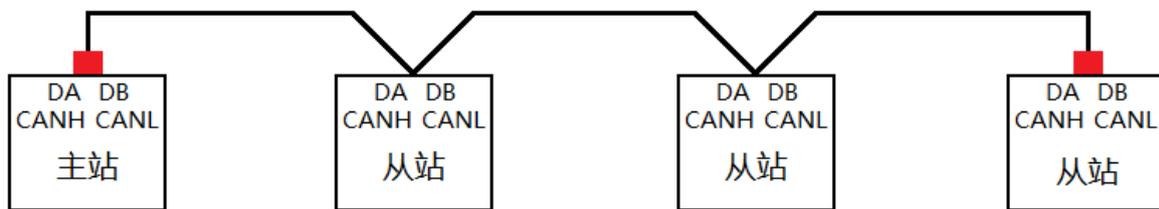


图 1-1 标准的 RS485 和 CAN 总线连接拓扑

为图示清晰,后面均采用下面图 1-2 所示的简洁图示:



图例：■ 120欧终端电阻 — 双绞线电缆

图 1-2 标准的 RS485 和 CAN 总线连接拓扑简洁图示

2、RS485 和 CAN 总线的终端电阻

关于 RS485 和 CAN 总线终端电阻的详细论述请参看相关教科书。简单的表述是：当信号在电缆中传输时，由于电缆的线间电容、电感和电阻的作用，会产生信号反射，从而引起波形畸变使得通信数据出错。在电缆的两端各并接一只与电缆特性阻抗相同的电阻，就可以消除这种信号反射，从而保证数据正常传输，这两个电阻就叫做终端电阻。双绞线的特性阻抗通常为 120 欧，所以终端电阻的标准值通常也为 120 欧。如上面图 1-1 和图 1-2 所示。

由于信号是双向传输的，所以一段总线电缆的终端电阻是 2 个，需分别安装在一段电缆的两端。当总线中安装有中继器、集线器、光纤转换器等部件后，电缆就被这些部件分割成了几段，每段电缆的两端都须安装终端电阻，以此类推，如图 2-1、图 2-2、图 2-3 所示。

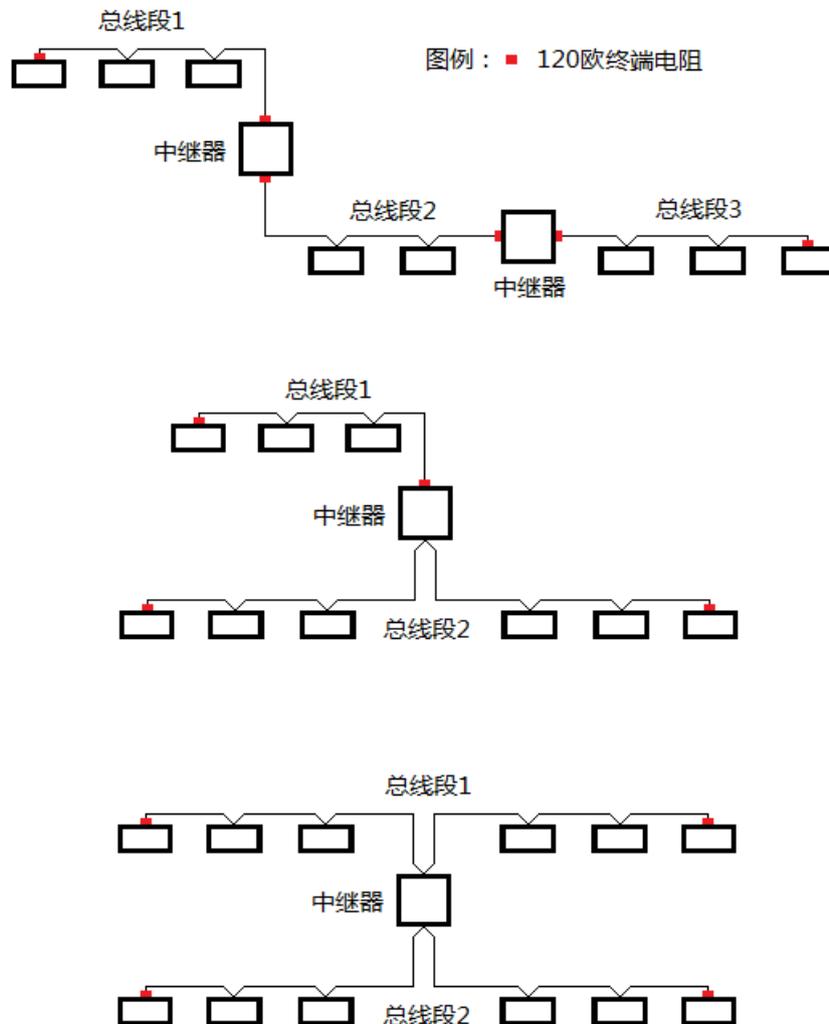
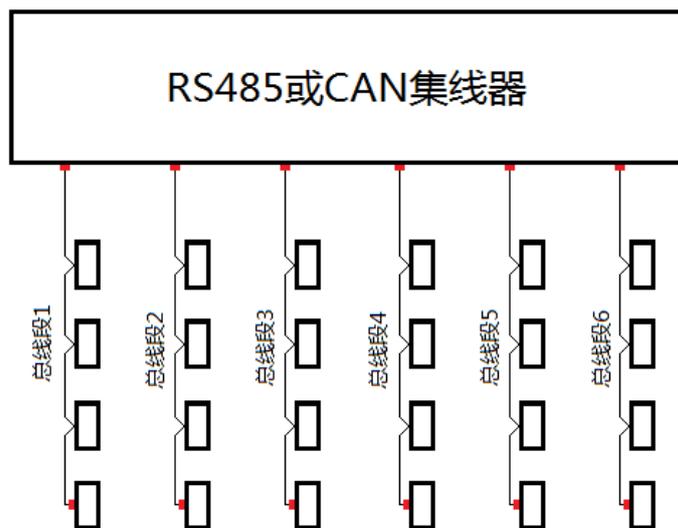


图 2-1 有中继器时的终端电阻配置



图例：■ 120欧终端电阻

图 2-2 有集线器时的终端电阻配置



图例：■ 120欧终端电阻

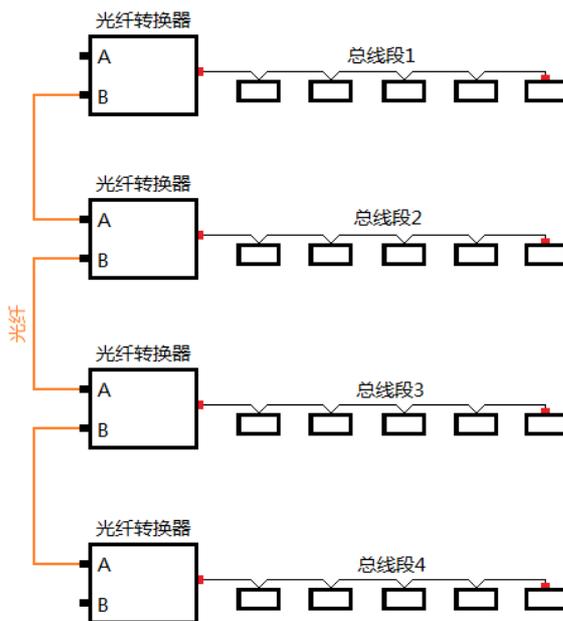


图 2-3 有光纤转换器时的终端电阻配置

2.1、RS485 和 CAN 总线电缆超过多长才需安装终端电阻？

这个问题与通信波特率（通信速率）密切相关，笔者实际测试的结果是，RS485 波特率为 9.6Kbps 时，电缆长度几百米无需终端电阻也能正常通信，波特率 12Mbps 时，电缆长度十几米必须有终端电阻才能正常通信；CAN 总线波特率为 1Mbps 时，电缆长度几米也必须有终端电阻才能正常通信。总之笔者认为，不管电缆长短，都应该有终端电阻，遵守规则总是正确的。

2.2、为什么有的 RS485 总线两端必须安装有源终端电阻？

先看一个案例：如图 2-4，两台西门子 S7-200PLC 之间通讯，电缆长度十几米，没有 120 欧终端电阻时通信正常，有 120 欧终端电阻时则不能通信。

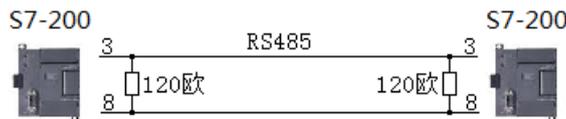


图 2-4

分析如下：

如图 2-5 是 S7-200PLC 的 RS485 通信口简化图，为了保证总线上能够挂接数十个 RS485 站点，PLC 的 RS485 接口上只能设计两个 100K 的弱上拉电阻和下拉电阻（也称为偏置电阻，该电阻不能过小，否则节点挂多了时会把总线拉死！）。

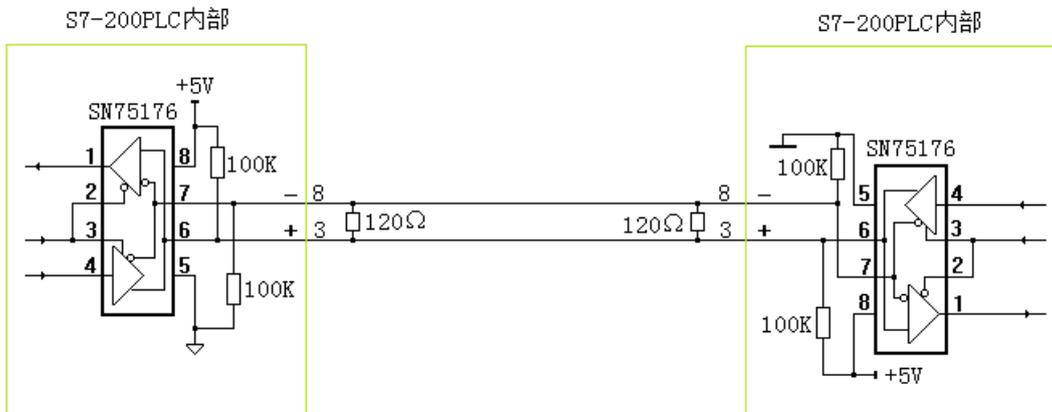


图 2-5 S7-200PLC 的 RS485 接口简图

接入 120 欧终端电阻后，在 RS485 总线上产生偏置电压为： $5 \times 0.12 / (100+100+0.12) = 0.003V$ ，众所周知，RS485 芯片的门限电压为 $\pm 0.2V$ ，也就是说 RS485 输入电压在 $-0.2V \sim +0.2V$ 之间时，其接收器的输出是不确定的，如果接收器输出为逻辑 0，就会使 CPU 收到连续长 0 信号而无法通信。西门子为解决这种问题设计了两种产品：总线连接器和有源终端电阻，二者原理相同，都是在**终端电阻**上增加了 390 欧的上拉电阻和下拉电阻，如图 2-6 所示，RS485 空闲时，在总线上产生逻辑 1 偏置电压为： $5 \times 220 / (390+390+220) = 1.1V$ ，或 $5 \times 120 / (390+390+120) = 0.66V$ ，该电压大于 RS485 的门限电压 0.2V，从而保证了 RS485 接收器输出为逻辑 1，使总线处于空闲待机状态。

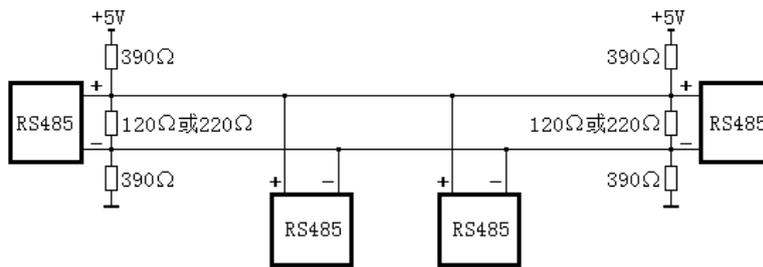


图 2-6 RS485 总线上拉下拉电阻的原理

西门子采用的终端电阻是 220 欧，笔者测试的结果是：电缆长度 1000 米，RS485 芯片发送器发送信号，用示波器观察该 RS485 芯片的接收器输出，电缆的两端都有 390 欧的偏置电阻时，终端电阻为 220 欧和 120 欧都没有信号反射，当电缆只有一端有 390 欧偏置电阻时，终端电阻为 120 欧仍然没有信号反射，220 欧时有信号反射。

图 2-7 是西门子总线连接器原理图，图 2-8 是四星电子有源终端电阻原理图。

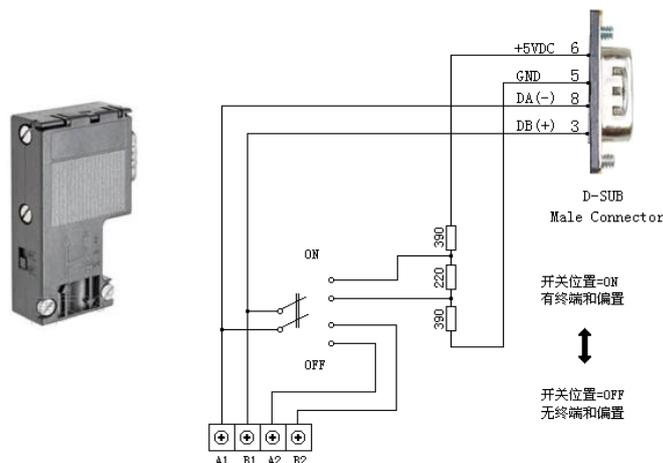
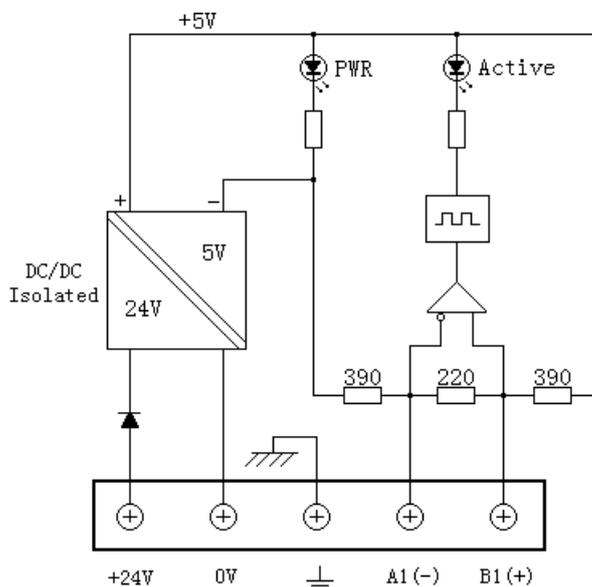


图 2-7 西门子总线连接器原理图



PB-TR485原理框图

图 2-8 四星电子有源终端电阻原理图

另一种结构的 RS485 接口电路，如 CC-Link，如图 2-9 所示，这种 RS485 接口电路无需在设备外部设计上下拉电阻，直接并接 120 欧终端电阻即可，即使总线短路也不会使 RS485 接收器输出长逻辑 0 给 CPU，读者可自行分析。

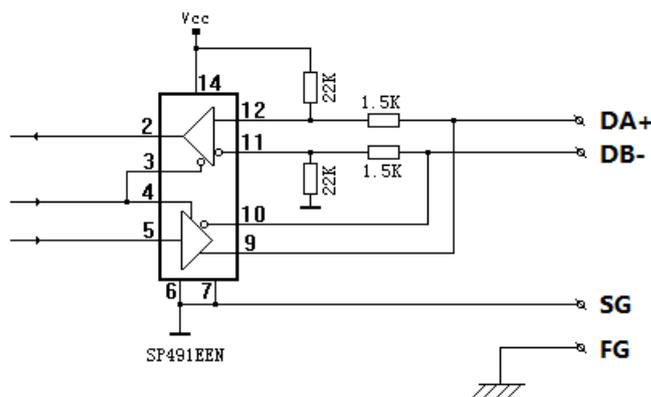
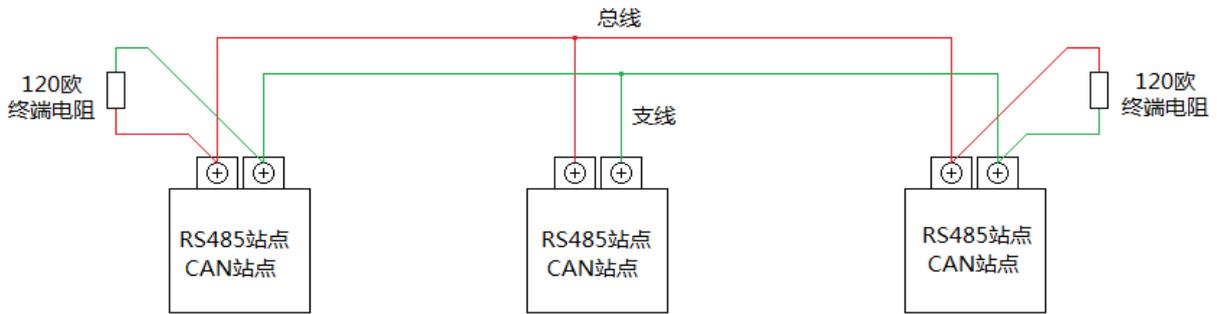


图 2-9 CC-Link 的 RS485 接口电路

CAN 总线的门限电平为 $\geq 0.9V$ 才有效，因此也就不存在上拉下拉电阻问题了，直接在电缆两端并接 120 欧终端电阻即可。

3、RS485 和 CAN 总线的支线问题

支线问题往往被很多用户忽视，当支线较多或太长时会产生一些奇怪的通信故障。支线是指 RS485 或 CAN 接口到总线的那一段电缆，如图 3-1 所示。



信号会在支线中产生回波使得波形畸变

图 3-1 RS485 和 CAN 总线的支线

当 RS485 或 CAN 信号在总线上传输时，会在支线中产生回波使得信号波形畸变，当支线长度过长或者支线站点过多时尤其严重。常见的错误支线如图 3-2 所示。

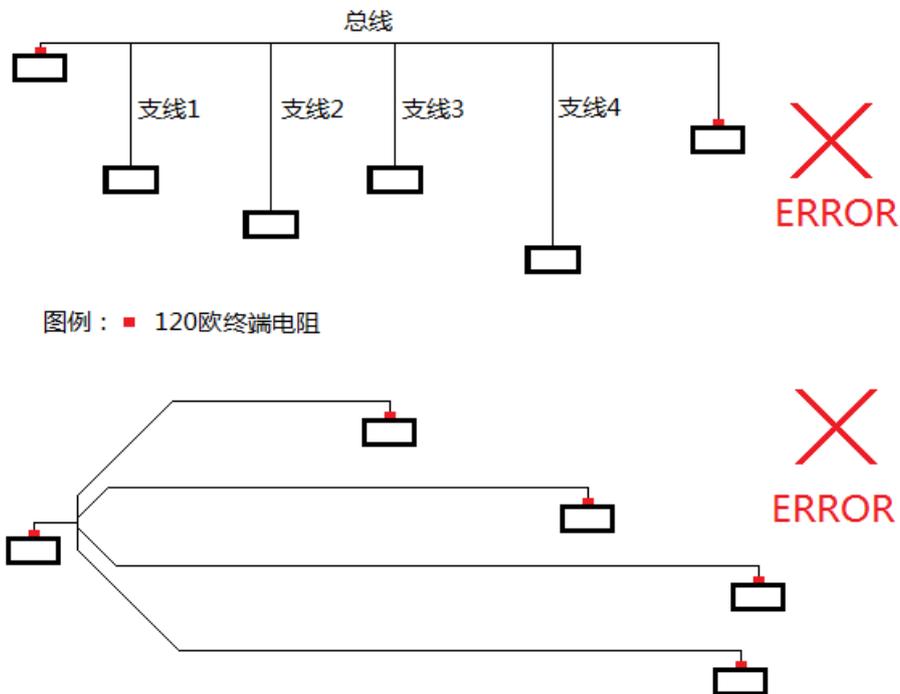


图 3-2 RS485 和 CAN 常见错误支线

3.1、支线到底允许多长？

相关文献和产品说明书上讲 RS485 或 CAN 的支线允许长度时，几乎没有统一的数据，有说允许支线最长 1 米，有说允许支线最长 5 米，特别是 CAN 总线的支线问题，其允许每个支线长度和支线数量等还有很复杂的估算公式。其实支线长度也是和通信波特率密切相关的，笔者认为，施工布线成无支线为上策，避免不必要的麻烦。

3.2、怎样做到无支线？

对于接口形式是 DB9 插座的现场总线，如 PROFIBUS、PPI、MPI、CANOpen，西门子等公司早已设计有 PROFIBUS 总线连接器（俗称 DP 插头）、CANOpen 总线连接器等部件，只要使用这些连接器就可实现无支线的网络结构，PROFIBUS 总线连接器的原理图见前面的图 2-7，下面图 3-3 是 CANOpen 总线连接器原理图。

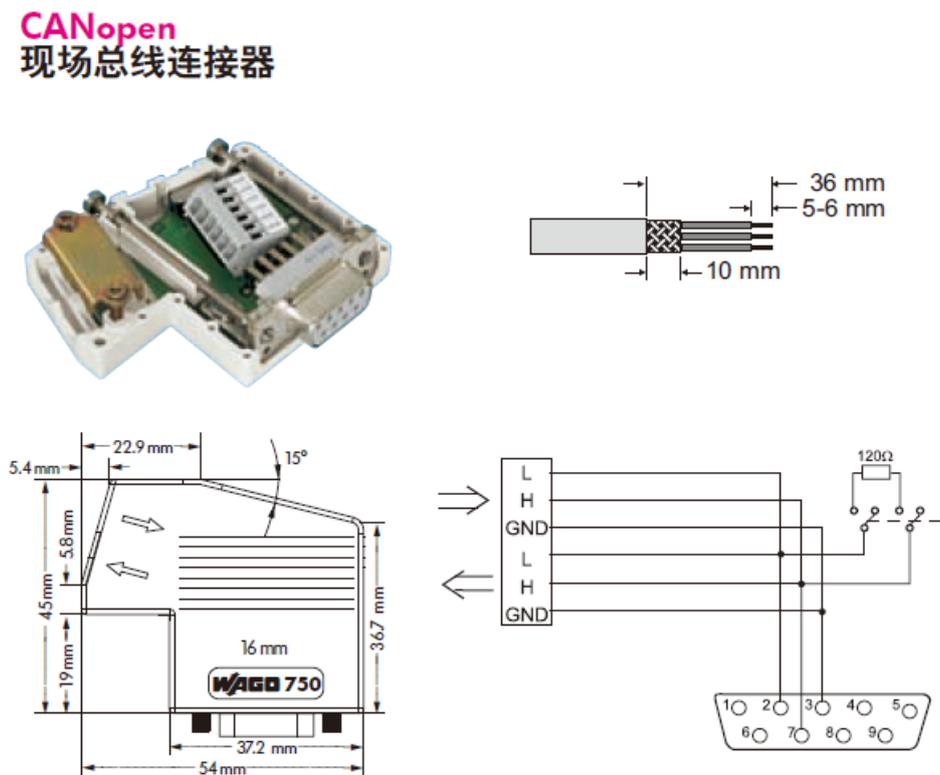


图 3-3 CANOpen 总线连接器原理图

现在新型的 DeviceNet 连接器采用了一分二的双孔连接器端子，同样也实现了无支线的网络结构，如图 3-4 所示。



图 3-4 DeviceNet 一分二连接器

对于那些只有一对接线端子的 RS485 和 CAN 接口，可采用双线并接一个端子的方式来实现无支线结构，如图 3-5 所示。

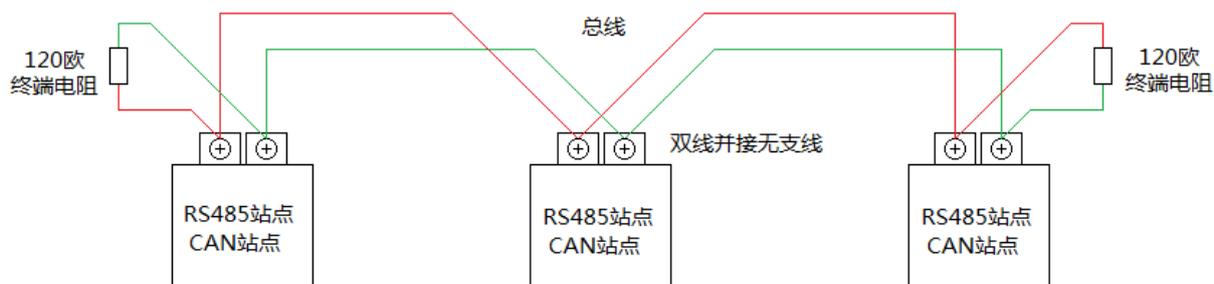
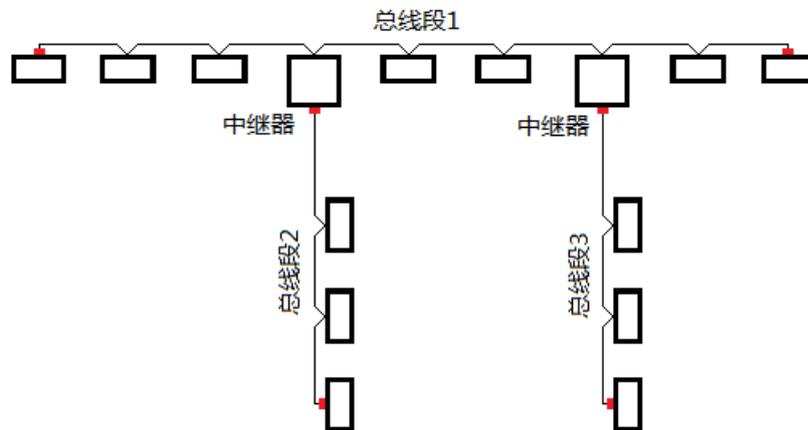


图 3-5 双线并接的无支线结构

3.3、无法避免支线怎么办呢？

在 RS485 和 CAN 总线布线施工时，有些时候由于环境局限或本身就需要将电缆分支引到别处，这时就必须在分支处安装中继器，经过中继器就产生了一条新的总线，且传输距离符合 RS485 标准，如图 3-6 所示。注意，图中的中继器在总线段 1 中是作为一个站点（节点），在总线段 2 和总线段 3 中是作为一个终端。



图例：■ 120欧终端电阻

图 3-6 RS485 和 CAN 总线在分支处须安装中继器

4、RS485 信号极性标注符号

RS485 标准中没有规定信号正负极性的符号，因此各厂家产品标注 RS485 信号正负极性的符号各不相同，中国的产品以及日本三菱的 PLC、CC-Link 等工控产品多以 A（或 DA）表示 RS485 信号正、B（或 DB）表示 RS485 信号负。而西门子、欧姆龙、施耐德等则相反，用 B 表示 RS485 信号正、A 表示 RS485 信号负。用户经常因此犯糊涂。

判断 RS485 信号正负极性很简单：取下电缆，用万用表电压档测量一下 RS485 两个端子上的开路电压极性便知，RS485 开路时，即使内部没有设计上拉下拉电阻，也总会有一定的残余电压。

四星电子的 RS485 正负极性符号为 D+、D-，不易混淆。

5、RS485 和 CAN 的信号地和屏蔽地

RS485 和 CAN 总线电缆通常使用带屏蔽层的双绞线电缆，屏蔽层需接到各个站点的机壳地（屏蔽接地，符号通常为 FG、SLD），这是屏蔽电缆接地的常规做法，很好理解，不用赘述。

很多 RS485 和 CAN 总线产品还有一个信号地（通常符号为 SG、DG）端子，按照相关标准上的表述是需要用一根导线将所有站点的信号地连通，使之成等电位，以免各站点地电位差太大损坏 RS485 或 CAN 器件。如图 5-1 所示。

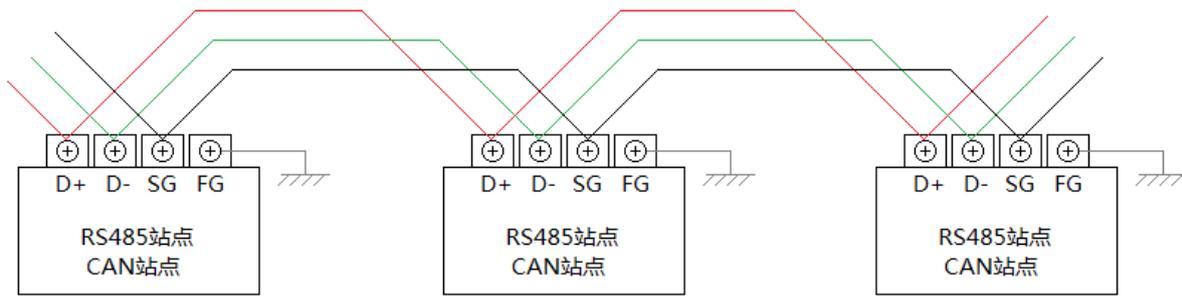


图 5-1 将各站点的信号地 SG 连成等电位

CC-Link、DeviceNet、CANOpen 等在产品上和通信电缆均设计了这个信号地线，而 PROFIBUS 从产品到通信电缆均没有设计这个信号地；众多的 RS485、CAN 总线在实际工程中其实都是使用二芯双绞线，大多数的用户都没有连接各站点的信号地线。

笔者认为，如果各站点的接口是经过隔离的，则完全没有必要连接第三条信号地线，因为隔离后各站点的信号地是各自独立不相干的，不会形成地线回路。

6、RS485 和 CAN 总线的传输距离

RS485 和 CAN 总线的传输距离除了与使用的双绞线有关外，还与通信波特率密切相关，波特率越低传输距离越远，反之波特率越大传输距离越短。RS485 和 CAN 总线均规定了所使用双绞线的参数，如表 6-1、表 6-2 所示。

表 6-1 RS485 专用双绞线电缆参数

通用特性	规范
类型	屏蔽双绞线
导体截面积	24AWG (0.35mm ²) 或更粗
电缆电容	<60pf/m
特性阻抗	120 欧

表 6-2 CAN 总线专用双绞线电缆参数

通用特性	规范
类型	屏蔽双绞线
导体截面积	0.5mm ² ，当长度超过 1km 时，要求截面积 ≥ 1.5mm ²
电缆电容	<60pf/m
特性阻抗	120 欧

有的电缆生产厂家为节省成本，在铜线中添加了其它廉价合金，这将使得电缆的电阻值增大，在购买电缆时需指明为**无氧铜**电缆。用户可对电缆进行一下简单粗略的测试：

用万用表电阻档测量电缆的电阻值、游标卡尺测量导体的直径（换算成截面积），根据导体电阻计算公式 $R = \rho L/S$ ， ρ ：铜的电阻率为 0.017，L：电缆长度（米），S：电缆截面积（ mm^2 ），根据公式可判断电缆是否为纯铜材质。

用万用表电容档测量电缆的线间电容，每米的线间电容应小于 60pf。

表 6-3 不同波特率下 RS485 的最大传输距离

波特率 (bps)	9.6K	19.2K	45.45K	93.75K	187.5K	500K	1.5M	3M	6M	12M
最大电缆长度 (米)	1200				1000	400	200	100		

表 6-4 不同波特率下 CAN 总线的最大传输距离

波特率 (bps)	5k	10k	20k	50k	100k	125k	250k	500k	1M
最大电缆长度	10km	5km	3km	1km	500m	400m	200m	100m	30m

为什么 CAN 总线电缆长度超过 1km 时，要求双绞线导体的截面积 $\geq 1.5\text{mm}^2$ ？

几乎所有关于 CAN 总线的教科书和产品手册上都提到 CAN 总线在通信速率为 5Kbps 时通信距离可达 10 公里，10Kbps 时通信距离可达 5 公里，但用户在实际使用中却达不到说明书上注明的最大通信距离，原因何在？这里人们忽略了传输线的截面积问题，因为 CAN 在远距离传输时需要较粗的双绞线！我们假定不考虑通信线路的电感和线间电容，CAN 数据发送和接收如下图 6-1 所示：

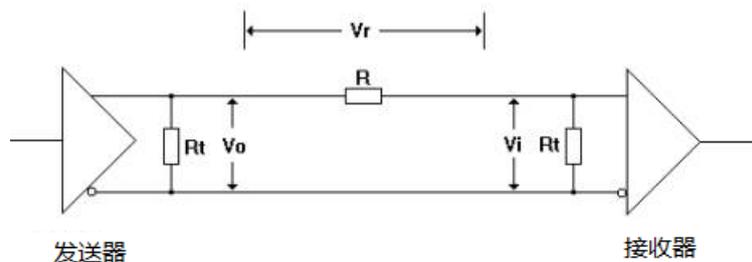


图 6-1 CAN 总线信号的发送与接收

图中： R_t 为终端电阻， $R_t=120$ 欧； R 为双绞线电缆电阻（二根线的电阻），阻值由线路的长度和粗细确定； V_o 为 CAN 发送器输出电压，当接上终端电阻 R_t 时， $V_o=2V$ ； V_i 为 CAN 接收器的输入电压， $V_i \geq 0.9V$ 时信号有效。

当发送器发送信号时 $V_o=2V$ ，接收器输入电压 $V_i \geq 0.9V$ 时信号被接收，这时允许通信线路的最大压降为： $V_r = V_o - V_i = 2 - 0.9 = 1.1V$ 。线路电阻为： $R = R_t V_o / (V_i - R_t) = 120 \times 2 / (0.9 - 120) = 146$ 欧，线路导线的截面积为： $S = \rho L / R$ S ：导线截面积 mm^2 ， ρ ：铜的电阻率， $\rho=0.017$ ， L ：线路长度（二芯），当通信距离为 10 公里时 $L=20000$ 米，由此得出通信距离为 10 公里时的最小导线截面积为：

$S = 0.017 \times 20000 / 146 = 2.3 mm^2$ 。考虑到双绞线的电感和线间电容，截面积应该大于 $2.3 mm^2$ ，实际上传输 10km 距离时，双绞线截面积应选 $2.5mm^2$ 以上。

实际应用中，如果已敷设好截面积较小的双绞线，可将总线两端的终端电阻适当增大，比如可在 120 欧~390 欧之间选择来试试，这样可提高 CAN 接收器分得的信号电压，因为低速通信时，较大的终端电阻产生的信号反射往往在容忍范围内。下表 6-5 是实测的 CAN 总线在不同传输距离和不同波特率下可使用的终端电阻经验数据。

表 6-5 CAN 总线不同传输距离和波特率可使用的终端电阻经验数据

传输距离	波特率 (bps)	终端电阻
30m	1M	120 欧
40m	800K	120 欧
100m	500K	120 欧
200m	250K	120 欧
400m	125K	120 欧
500m	100K	120 欧
1km	50K	120 欧
3km	20K	180 欧
5km	10K	270 欧
10km	5K	390 欧

影响传输距离的因素除以上所述外，还和工业现场的干扰相关，特别是与大功率变频器通信时，其传输距离会大大的缩短。必要时需要增加安装中继器或隔离器来解决这些问题。西门子的相关产品说明书就表述得很保守，规定非隔离的 RS485 口传输距离不能超过 50 米，我们实测结果远不止 50 米，说明人家是考虑了现场干扰等综合因素。所以我们在实际工程中所使用的电缆长度最好不要超过标准规定的 70% 为宜，凡事需留有一定的余地。

7、RS485 和 CAN 总线的星型连接

手牵手一条总线走到底的总线型连接是 RS485 和 CAN 的经典网络拓扑，但也存在以下缺点：

- 某个站点故障时可能会影响整条总线。
- 排查故障麻烦，特别是站点较多时，要找到故障站点很费时。
- 总线如遭遇雷击浪涌，可能损坏所有连接在总线上的站点设备。
- 在某些环境下施工麻烦。
- 对于总线型光纤连接，某个光纤适配器停电时，则后面的站点就无法进行通信了。

星型连接的网络拓扑就能很好的解决上述问题，如图 7-1 所示为使用集线器后星型连接拓扑。

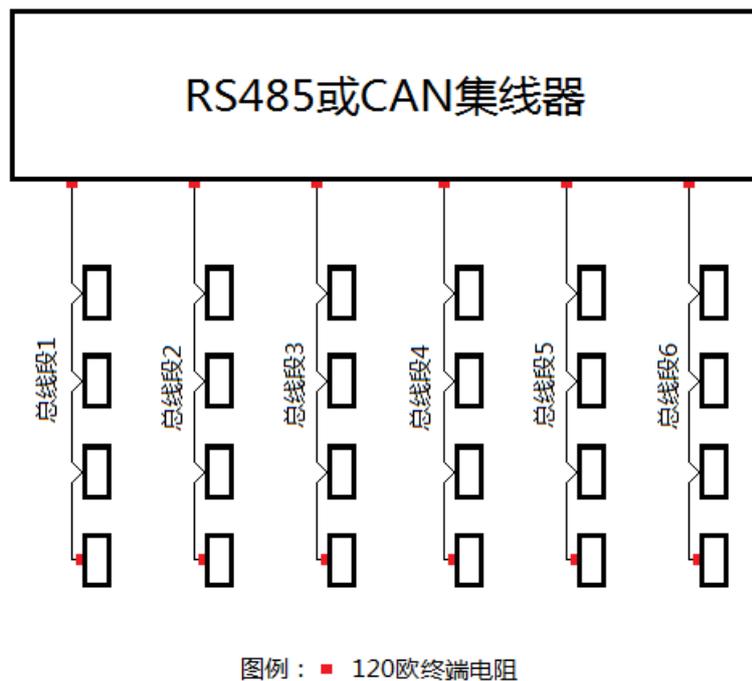


图 7-1 RS485 和 CAN 总线的星型连接

四星电子为 RS485 和 CAN 总线的星型连接拓扑研发出了系列集线器，如组合式 RS485 集线器、组合式 CC-Link 集线器、组合式 LonWorks 集线器、PROFIBUS 集线器、CAN 总线集线器、AS-i 总线集线器等系列产品。如图 7-2 所示。

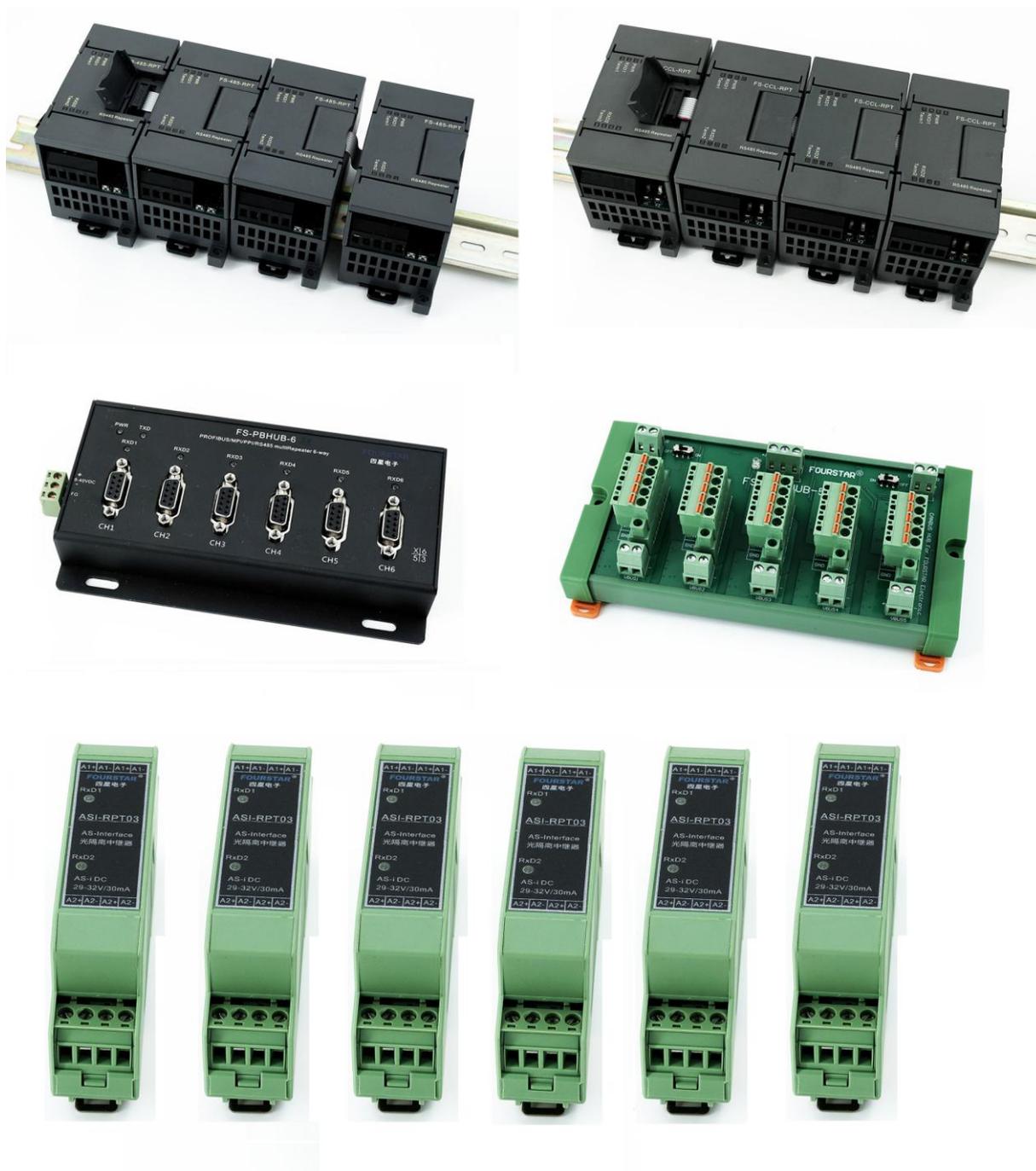


图 7-2 四星电子各种现场总线集线器

8、RS485 和 CAN 总线接口隔离

接口隔离是用光耦将 RS485 或 CAN 接口与内部电路隔离开来,这样一来总线上的各个站点通信口之间就没有电的连接,也不会形成地线回路,起到了很好的抗共模干扰的作用,各站点的信号地就不必用导线连成等电位。在有些场合,接口隔离是必须的,如变频器的 RS485 口或 PROFIBUS 口,变频器的工作原理决定了其 RS485 口在输出正常数据信号的同时,往往还夹杂着一些杂波干扰信号,这些信号时常会使传输数据出错,现场实践中通常表现为通信时通时断。

用 RS485 隔离器可以解决或改善这种问题,如图 8-1 所示。图中接变频器的是 RS485 隔离器,接 PLC 的是隔离型的 PROFIBUS 总线连接器。

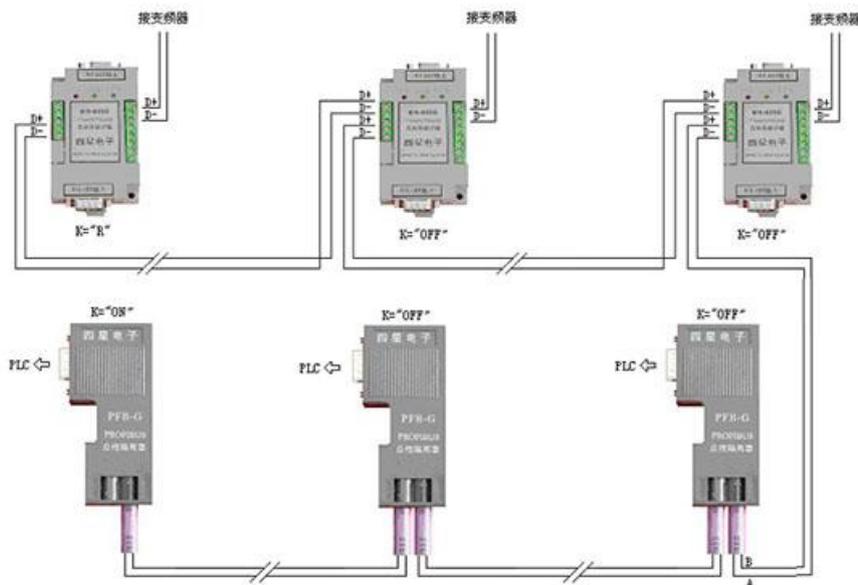


图 8-1 西门子 PLC 与变频器隔离通信方案

9、RS485 和 CAN 总线接口保护

图 9-1 是四星电子出品的 RS485 和 CAN 总线通用接口保护器 BH-485,从图中可看出该保护器设计为二级保护,第一级采用陶瓷放电管吸收雷电浪涌,然后经过自恢复保险限流到第二级 TVS 保护,三个 TVS 器件分别对信号线之间、信号线与信号地之间进行钳位保护。

该保护器内还带有 120 欧终端电阻，通过短路 S1、S2 端子来接入终端电阻，而且该产品设计成 J1、J2 双接线端子，这样便于实现手牵手的无支线的连接方式。

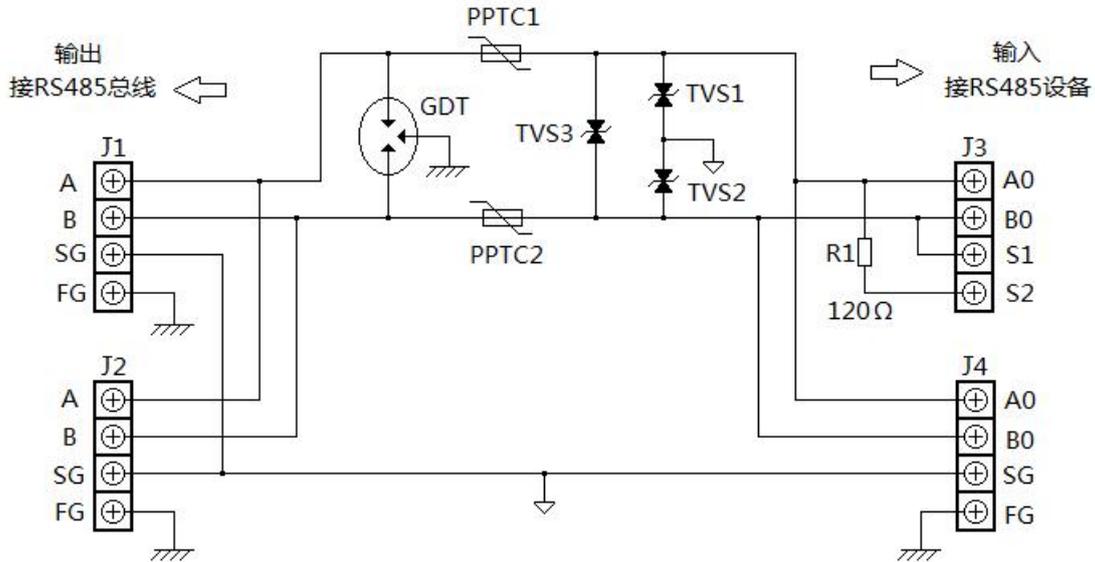


图 9-1 RS485 和 CAN 浪涌保护器

10、RS485 站点上电时对总线的影响

在实际工程中，有的从站是间歇式工作的，即需要时通电连入总线，不用时则关断从站电源。在设备上电的过渡过程中，其 RS485 口输出是不确定的，可能输出逻辑 1 或逻辑 0 电平短暂的拉死总线，从而造成通讯闪断。

如图 10-1 的接口电路设计可以防止这种现象的发生。

当上电瞬间，C1 电压不能突变，或非门 U1 的 1 脚为高电平，输出 3 脚为低电平，确保了 RS485 芯片 U2 的发送器关闭，不会对总线造成扰动；当经过 $t=R1 \times C1$ 时间后，U1 的 1 脚变为低电平，使能信号 EN 才开始控制 RS485 芯片 U2 的数据收发。二极管 D1 的作用是反向电压钳位保护。

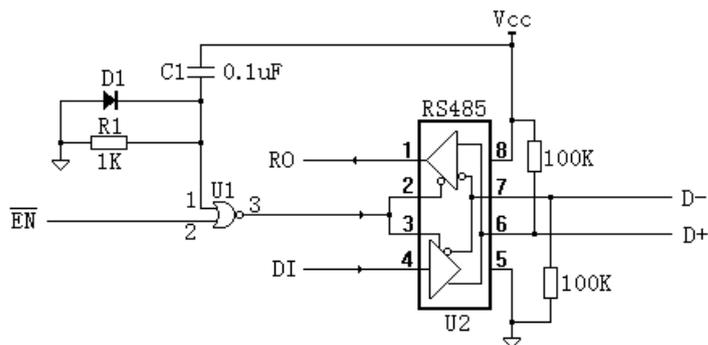


图 10-1 上电瞬间不会对总线产生扰动的电路

CAN 总线站点上电的过渡过程中，CANH、CANL 是处于高阻悬浮状态，不会对总线产生影响。

德阳四星电子技术有限公司

地 址：四川省德阳市庐山南路二段 88 号 H 栋二楼

电 话：0838-2515543 传真：0838-2515546

网 址：<http://www.fourstar-dy.com>