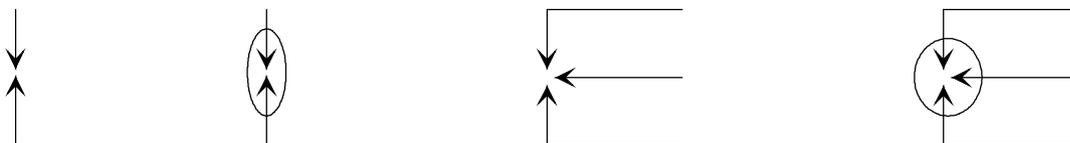


防雷电路中的元器件



气体放电管



气体放电管是一种开关型保护器件，工作原理是气体放电。当两极间电压足够大时，极间间隙将放电击穿，由原来的绝缘状态转化为导电状态，类似短路。导电状态下两极间维持的电压很低，一般在20~50V，因此可以起到保护后级电路的效果。

气体放电管的主要指标有：响应时间、直流击穿电压、冲击击穿电压、通流容量、绝缘电阻、极间电容、续流遮断时间。

气体放电管的响应时间可以达到数百ns以至数 μ s，在保护器件中是最慢的。当线缆上的雷击过电压使防雷器中的气体放电管击穿短路时，初始的击穿电压基本为气体放电管的冲击击穿电压，放电管击穿导通后两极间维持电压下降到20~50V；另一方面，气体放电管的通流量比压敏电阻和TVS管要大，气体放电管与TVS等保护器件合用时应使大部分的过电流通过气体放电管泄放，因此气体放电管一般用于防护电路的最前级，其后级的防护电路由压敏电阻或TVS管组成，这两种器件的响应时间很快，对后级电路的保护效果更好。气体放电管的绝缘电阻非常高，可以达到千兆欧姆的量级。极间电容的值非常小，一般在5pF以下，极间漏电流非常小，为nA级。因此气体放电管并接在线路上对线路基本不会构成什么影响。

气体放电管的续流遮断是设计电路需要重点考虑的一个问题。如前所述，气体放电管在导电状态下续流维持电压一般在20~50V，在直流电源电路中应用时，如果两线间电压超过15V，不可以在两线间直接应用放电管。在50Hz交流电源电路中使用，虽然交流电压有过零点，可以实现气体放电管的续流遮断，但气体放电管类的器件在经过多次导电击穿后，其续流遮断能力将大大降低，长期使用后在交流电路的过零点也不能实现续流的遮断；还存在一种情况就是如果电流和电压相位不一致，也可能导致续流不能遮断。因此在交流电源电路的相线对保护地线、相线对零线以及相线之间单独使用气体放电管都不合适，当用电设备采用单相供电且无法保证实际应用中相线和中线不存在接反的可能性时，中线对保护地线单独使用气体放电管也是不合适的，此时使用气体放电管需要和压敏电阻串联。在交流电源电路的相线对中线的保护中基本不使用气体放电管。

防雷电路的设计中，应注重气体放电管的直流击穿电压、冲击击穿电压、通流容量等参数值的选取。设置在普通交流线路上的放电管，要求它在线路正常运行电压及其允许的波动范围内不能动作，则它的直流放电电压应满足： $\min(u_{\text{fdc}}) \geq 1.8U_p$ 。式中 u_{fdc} 直流击穿电压， $\min(u_{\text{fdc}})$ 表示直流击穿电压的最小值。 U_p 为线路正常运行电压的峰值。

气体放电管主要可应用在交流电源口相线、中线的对地保护；直流RTN和保护地之间的保护；信号口线对地的保护；天馈口馈线芯线对屏蔽层的保护。

气体放电管的失效模式多数情况下为开路，因电路设计原因或其它因素导致放电管长期处于短路状态而烧坏时，也可引起短路的失效模式。气体放电管使用寿命相对较短，多次冲击后性能会下降，同时其他放电管在长时间使用会有漏气失效这种自然失效的情况，因此由气体放电管构成的防雷器长时间使用后存在维护及更换的问题。

压敏电阻



图4-2 压敏电阻的原理图符号

压敏电阻是一种限压型保护器件。利用压敏电阻的非线性特性，当过电压出现在压敏电阻的两极间，压敏电阻可以将电压钳位到一个相对固定的电压值，从而实现对外级电路的保护。压敏电阻的主要参数有：压敏电压、通流容量、最大限制电压、结电容、响应时间等。

压敏电阻的响应时间为ns级，比空气放电管快，比TVS管稍慢一些，一般情况下用于电子电路的过电压保护其响应速度可以满足要求。压敏电阻的结电容一般在几百到几千pF的数量级范围，很多情况下不宜直接应用在高频信号线路的保护中，应用在交流电路的保护中时，因为其结电容较大会增加漏电流，在设计防护电路时需要充分考虑。压敏电阻的通流容量较大，但比气体放电管小。

压敏电阻的压敏电压($\min(U_{1mA})$)、通流容量是电路设计时应重点考虑的。在直流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (1.8 \sim 2)U_{dc}$ ，式中 U_{dc} 为回路中的直流额定工作电压。在交流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (2.2 \sim 2.5)U_{ac}$ ，式中 U_{ac} 为回路中的交流工作电压的有效值。上述取值原则主要是为了保证压敏电阻在电源电路中应用时，有适当的安全裕度。在信号回路中时，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (1.2 \sim 1.5)U_{max}$ ，式中 U_{max} 为信号回路的峰值电压。压敏电阻的通流容量应根据防雷电路的设计指标来定。一般而言，压敏电阻的通流容量要大于等于防雷电路设计的通流容量。

压敏电阻主要用于直流电源、交流电源、低频信号线路、带馈电的天馈线路。

压敏电阻的失效模式主要是短路，当通过的过电流太大时，也可能造成阀片被炸裂而开路。压敏电阻使用寿命较短，多次冲击后性能会下降。因此由压敏电阻构成的防雷器长时间使用后存在维护及更换的问题。

电压钳位型瞬态抑制二极管 (TVS)

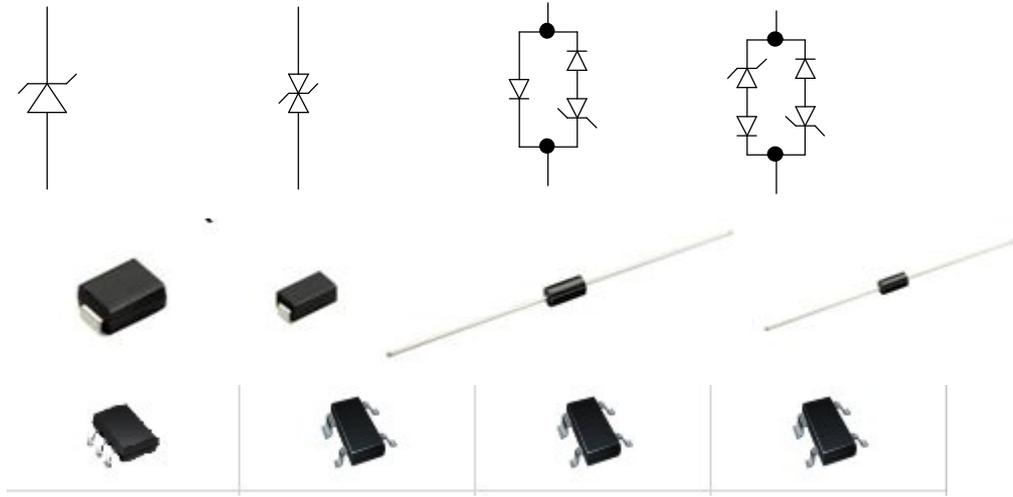


图4-3 TVS管原理图

TVS (Transient Voltage Suppression) 是一种限压保护器件，作用与压敏电阻很类似。也是利用器件的非线性特性将过电压钳位到一个较低的电压值实现对后级电路的保护。TVS管的主要参数有：反向击穿电压、最大钳位电压、瞬间功率、结电容、响应时间等。

TVS的响应时间可以达到ps级，是限压型浪涌保护器件中最快的。用于电子电路的过电压保护时其响应速度都可满足要求。TVS管的结电容根据制造工艺的不同，大体可分为两种类型，高结电容型TVS一般在几百~几千pF的数量级，低结电容型TVS的结电容一般在几pF~几十pF的数量级。一般分立式TVS的结电容都较高，表贴式TVS管中两种类型都有。在高频信号线路的保护中，应主要选用低结电容的TVS管。

TVS管的非线性特性比压敏电阻好，当通过TVS管的过电流增大时，TVS管的钳位电压上升速度比压敏电阻慢，因此可以获得比压敏电阻更理想的残压输出。在很多需要精细保护的电子电路中，应用TVS管是比较好的选择。TVS管的通流容量在限压型浪涌保护器中是最小的，一般用于最末级的精细保护，因其通流量小，一般不用于交流电源线路的保护，直流电源的防雷电路使用TVS管时，一般还需要与压敏电阻等通流容量大的器件配合使用。TVS管便于集成，很适合在单板上使用。

TVS具有的另一个优点是灵活选用单向或双向保护器件，在单极性的信号电路和直流电源电路中，选用单向TVS管，可以获得比较低的残压。

TVS的反向击穿电压、通流容量是电路设计时应重点考虑的。在直流回路中，应当有： $\min(U_{BR}) \geq (1.3 \sim 1.6)U_{max}$ ，式中 U_{BR} 为直流TVS的反向击穿电压， U_{max} 是直流回路中的电压峰值。

TVS管主要可用于直流电源、信号线路、天馈线路的防雷保护。

TVS管的失效模式主要是短路。但当通过的过电流太大时，也可能造成TVS管被炸裂而开路。TVS管的使用寿命相对较长。

电压开关型半导体放电管（TSS）

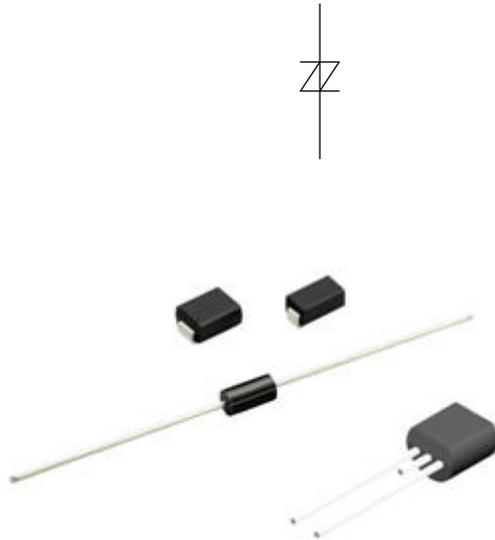


图4-4 TSS管的原理图符号

电压开关型半导体放电管（TSS, Thyristor Surge Suppressor）与TVS管相同，也是利用半导体工艺制成的限压保护器件，但其工作原理与气体放电管类似，而与压敏电阻和TVS管不同。当TSS管两端的过电压超过TSS管的击穿电压时，TSS管将把过电压钳位到比击穿电压更低的接近0V的水平上，之后TSS管持续这种短路状态，直到流过TSS管的过电流降到临界值以下后，TSS恢复开路状态。

TSS管在响应时间、结电容方面具有与TVS管相同的特点。易于制成表贴器件，很适合在单板上使用，TSS管动作后，将过电压从击穿电压值附近下拉到接近0V的水平，这时二极管的结压降小，所以用于信号电平较高的线路（例如：模拟用户线、ADSL等）保护时通流量比TVS管大，保护效果也比TVS管好。TSS适合于信号电平较高的信号线路的保护。

在使用TSS管时需要注意的一个问题是：TSS管在过电压作用下击穿后，当流过TSS管的电流值下降到临界值以下后，TSS管才恢复开路状态，因此TSS管在信号线路中使用时，信号线路的常态电流应小于TSS管的临界恢复电流。临界恢复电流值随TSS管的型号和设计应用场合的不同而不同，使用时应注意在器件手册中查明所用具体型号的确切值。

TSS管的击穿电压（ $\min(U_{BR})$ ）、通流量是电路设计时应重点考虑的。在信号回路中时，应当有： $\min(U_{BR}) \geq (1.2 \sim 1.5)U_{MAX}$ ，式中 U_{MAX} 为信号回路的峰值电压。

TSS管较多应用于信号线路的防雷保护。

TSS管的失效模式主要是短路。但当通过过电流太大时，也可能造成TSS管被炸裂而开路。TSS管的使用寿命相对较长。

正温度系数热敏电阻 (PTC)



PTC是一种限流保护器件，它有一个动作温度值 t_0 ，当其本体内温度低于 t_0 时，其阻值维持基本恒定，这时的阻值称为冷电阻。当正温度系数电阻本体那温度高于 t_0 时，其阻值迅速增大，可以达到的最大阻值能过比冷电阻值打 10^4 倍左右。由于它的阻值可以随温度升高而迅速增大，所以一般串联于线上用作暂态大电流的过流保护。PTC在信号线及电源线路上都有应用。

PTC反应速度较慢，一般在毫秒级以上，因此它的非线性电阻特性在雷击过电流通过时基本发挥不了作用，只能按它的常态电阻（冷电阻）来估算它的限流作用。热敏电阻的作用更多的体现在诸如电力线碰触等出现长时间过流保护的场合，常用于用户线路的保护中。

目前PTC主要有高分子材料PTC和陶瓷PTC两种，其中陶瓷PTC的过电压承受能力比高分子材料的PTC好，但高分子材料的PTC响应速度比陶瓷PTC快。通常陶瓷PTC不能实现低阻值，低阻值的PTC均采用的是高分子的材料。

保险管、熔断器、空气开关

保险管、熔断器、空气开关都属于保护器件，用于设备内部出现短路、过流等故障情况下，能够断开线路上的短路负载或过流负载，防止电气火灾及保证设备的安全特性。

保险管一般用于单板上的保护，熔断器、空气开关一般可用于整机的保护。下面简单介绍保险管的使用。

对于电源电路上由空气放电管、压敏电阻、TVS管组成的防护电路，必须配有保险管进行保护，以避免设备内的防护电路损坏后设备发生安全问题。

保险管的特性主要有：额定电流、额定电压等。其中额定电压有直流和交流之分。

标注在熔丝上的电压额定值表示该熔丝在电压等于或小于其额定电压的电路中完全可以安全可靠地中断其额定的短路电流。电压额定值系列包括在N. E. C规定中，而且也是保险商实验室的一项要求，作为防止火灾危险的保护措施。对于大多数小尺寸熔丝及微型熔丝，熔丝制造商们采用的标准额定电压为32、63、125、250、600V。

概括而言，熔丝可以在小于其额定电压的任何电压下使用而不损害其熔断特性。

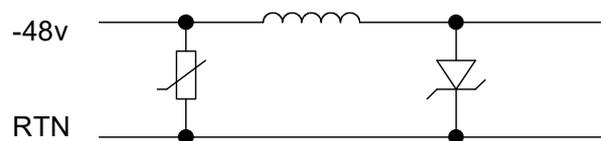
防护电路中的保险管，宜选用防爆型慢熔断保险管。

电感、电阻、导线

电感、电阻、导线本身并不是保护器件，但在多个不同保护器件组合构成的防护电路中，可以起到配合的作用。

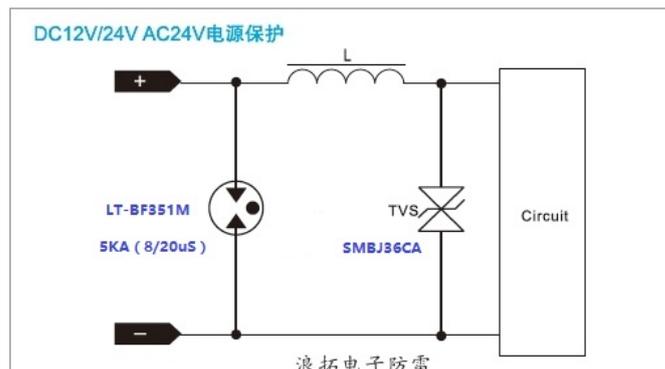
防护器件中，气体放电管的特点是通流量大、但响应时间慢、冲击击穿电压高；TVS管的通流量小，响应时间最快，电压钳位特性最好；压敏电阻的特性介于这两者之间，当一个防护电路要求整体通流量大，能够实现精细保护的时候，防护电路往往需要这几种防护器件配合起来实现比较理想的保护特性。但是这些防护器件不能简单的并联起来使用，例如：将通流量大的压敏电阻和通流量小的TVS管直接并联，在过电流的作用下，TVS管会先发生损坏，无法发挥压敏电阻通流量大的优势。因此在几种防护器件配合使用的场合，往往需要电感、电阻、导线等在不同的防护元件之间进行配合。下面对这几种元件分别进行介绍：

电感：在串联式直流电源防护电路中，馈电线上不能有较大的压降，因此极间电路的配合可以采用空心电感，如下图：



用电感实现两级防护器件的配合

电感应起到的作用：防护电路达到设计通流量时，TVS上的过电流不应达到TVS管的最大通流量，因此电感需要提供足够的对雷击过电流的限流能力。



在电源电路中，电感的设计应注意的几个问题：1、电感线圈应在流过设备的满配工作电流时能够正常工作而不会过热；2、尽量使用空心电感，带磁芯的电感在过电流作用下会发生磁饱和，电路中的电感量只能以无磁芯时的电感量来计算；3、线圈应尽可能绕制单层，这样做可以减小线圈的寄生电容，同时可以增强线圈对暂态过电压的耐受能力；4、绕制电感线圈导线上的绝缘层应具有足够的厚度，以保证在暂态过电压作用下线圈的匝间不致发生击穿短路。

在公司电源口的防护电路设计中，电感通常取值为7~15uH。

电阻：在信号线路中，线路上串接的元件对高频信号的抑制要尽量少，因此极间配合可以采用电阻，如下图：

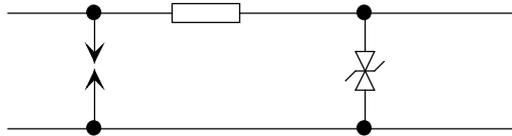
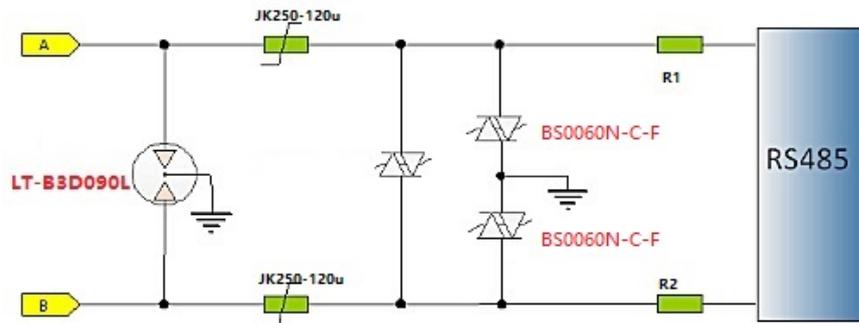


图4-7 用电阻实现两级防护器件的配合



电阻应起到的作用与前述电感的作用基本相同。以上图为例，电阻的取值计算方法为：测得空气放电管的冲击击穿电压值 U_1 ，查TVS器件手册得到TVS管8/20us冲击电流下的最大通流量 I_1 、以及TVS管最高钳位电压 U_2 ，则电阻的最小取值为：

$$R \geq (U_1 - U_2) / I_1$$

在信号线路中，电阻的使用应注意的几个问题：1、电阻的功率应足够大，避免过电流作用下电阻发生损坏；2、尽量使用线性电阻，使电阻对正常信号传输的影响尽量小。

导线：某些交/直流设备的满配工作电流很大，超过30A，这种情况下防护电路的极间配合采用电感会出现体积过大的问题，为解决这个问题，可以将防护电路分为两个部分，前级防护和后级防护不设计在同一块电路板上，同时两级电路之间可以利用规定长度的馈电线来做配合。

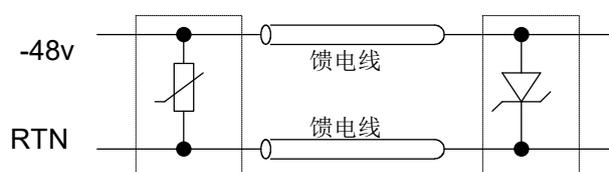


图4-8 用导线实现两级防器件的配合

这种组合形成的防护电路中，规定长度馈电线所起的作用，与电感的作用是相同的，因为1米长导线的电感量在1~1.6uH之间，馈电线达到一定长度，就可以起到良好的配合作用，馈电线的线径可以根据满配工作电流的大小灵活选取，克服了采用电感做极间配合时电感上不能流过很大工作电流的缺点。

变压器、光耦、继电器

变压器、光耦和继电器本身并不属于保护器件，但端口电路的设计中可以利用这些器件具有的隔离特性来提高端口电路抗过电压的能力。

端口雷击共模保护设计有两种方法：1、线路对地安装限压保护器，当线路引入雷击过电压时，限压保护器成为短路状态将过电流泄放到大地；2、线路上设计隔离元件，隔离元件两边的电路不共地，当线路引入雷击过电压时，这个瞬间过电压施加在隔离元件的两边。只要在过电压作用在隔离元件期间，隔离元件本身不被绝缘击穿，并且隔离元件前高压信号线不对其他低压部分击穿，线路上的雷击过电压就不能够转化为过电流进入设备内部，设备的内部电路也就得到了保护。这时线路上只需要设计差模保护，防护电路可以大大简化。例如以太网口的保护就可以采用这种思路。能够实现这种隔离作用的元件主要有：变压器、光耦和继电器等。

这里的变压器主要是指用于信号端口的各种信号传输变压器。变压器一般有初/次级间绝缘耐压的指标，变压器的冲击耐压值（适用于雷击）可根据直流耐压值或交流耐压值换算出来。大致的估算公式为：冲击耐压值=2×直流耐压值=3×交流耐压值。

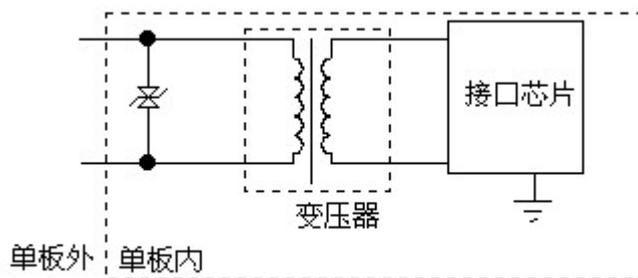
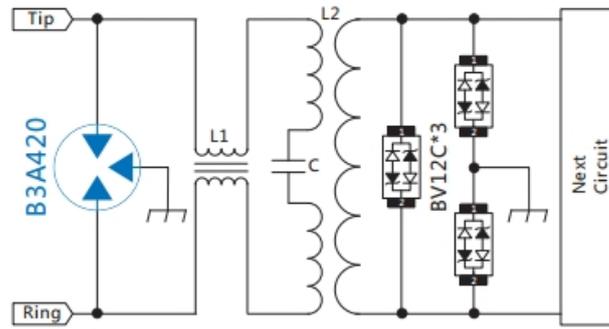
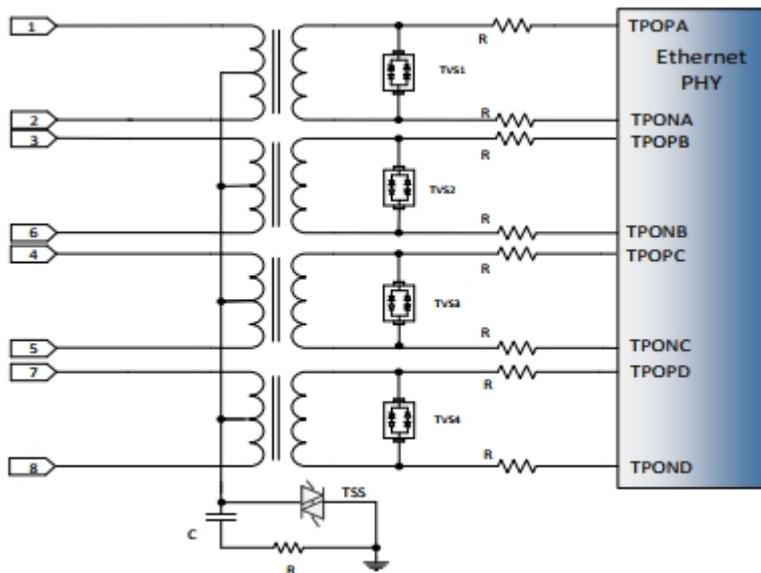


图4-9 用变压器实现隔离



上图示出一种将变压器结合在内的信号端口防护电路设计。雷击时，设备外部的线缆上可感应的对地共模过电压作用在变压器的初级和次级之间，如图4-9。只要初/次级不发生绝缘击穿，设备外电缆上的过电压就不会转化为过电流进入设备内部。这时端口只需要做差模保护，利用变压器等器件的隔离特性，有利于简化端口的防雷电路。

采用这种方法设计需要注意的是：变压器、光耦和继电器等元件本身的绝缘耐压能力应很高(例如冲击耐压大于4kV)，否则在过电压的作用下很容易发生绝缘击穿，不能起到提高端口耐压的作用。另外，利用变压器的隔离特性时，需要注意变压器的初/次级间有分布电容，某些情况下外部线缆上的共模过电压可通过分布电容从初级耦合到次级，从而进入到内部电路中，这样就破坏了变压器的隔离效果，因此应尽量选用带有初次极间屏蔽层的变压器，并将变压器屏蔽层外引线在单板内接地，如图4-9所示。这时变压器的有效绝缘耐压变成了初级与屏蔽接地端间的绝缘耐压值。采用共模隔离设计的另一个需要注意的问题是初级电路与单板上其它电路、地的印制线在单板上应分离开，并有足够的绝缘距离。一般，印制板上边缘相距1mm的两根印制走线，能耐受1.2/50us冲击电压4kV左右。



上面讲述了防护电路中所使用的元器件，在防护电路的器件选型过程中对气体放电管、压敏电阻、热敏电阻、保险管、熔断器、空气开关等都要选择性能优异的可靠性器件。