

EMI/EMC 设计讲座（五）映像平面的分割与隔离

设计 I/O 电路时,有两个地方很重要,那就是:功能子系统和「安静区域(quiet area)」。底下将分别说明。

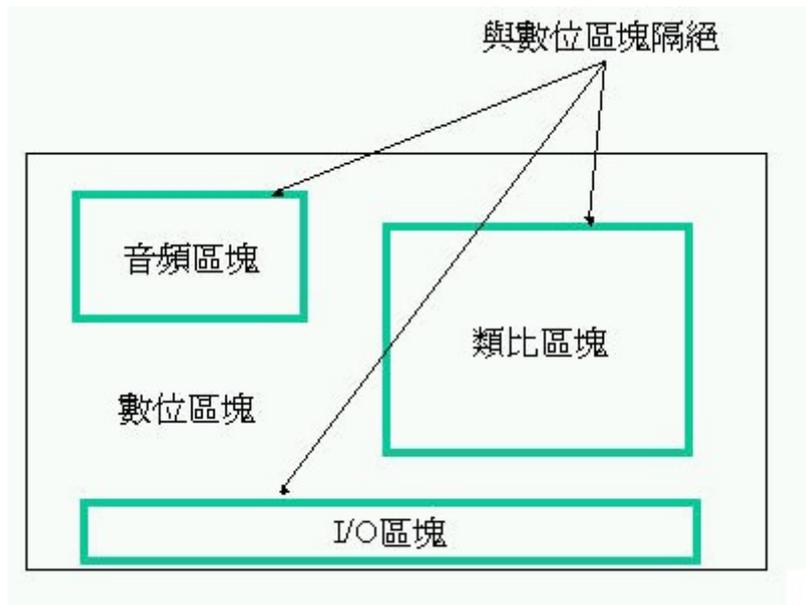
功能子系统

每一个 I/O 应该被视为 PCB 的不同区块,因为它们各自具有独特的功能与应用。为了避免在子系统之间产生射频耦合,所以必须做分割。一个功能子系统包含了一堆组件,以及相关的支持电路。组件与组件相互紧邻,可以缩短走线绕线的长度,并提高各功能区块的效能。每一位硬件和 PCB 工程师通常会试着将组件集合在一起,但是由于各种原因,有时这是行不通的。在布线(layout)时,I/O 子系统的处理方式和其它 PCB 区块不一样,这通常是经由布线切割达到的。

布线切割加强了讯号的质量和功能的完整性,因为这样可以防止产生具有高频宽的发射器,例如:背板互连、视讯装置、数据接口、以太控制器、SCSI 装置、CPU、毁损的串行或平行、视讯、音频、异步/同步通讯端口、软盘控制器、前端显示器、区域和广域网络控制器...等。每一个 I/O 子系统必须被当成不同的 PCB 一样。

安静区域

「安静区域」是和数字电路、模拟电路、供电和接地平面隔离的区域。这种隔离可以避免其它 PCB 区块内的噪声源,破坏了敏感电路。例如:来自数字区块的供电平面噪声,渗入至模拟装置(模拟区块)、音频装置(音频区块)、I/O 滤波器、互连电路...等的供电接脚,如附图一。



图一：安静区域

每一个 I/O 埠（或区块）必须有一个切割的（安静）接地或功率平面。低频 I/O 埠可以使用靠近于连接器的高频电容（通常是 470 pF 至 1,000 pF）来回避（bypass）。

PCB 上的走线绕线必须控制好，以免再次耦合的射频电流流入缆线的屏蔽（shield）内。一个干净的（安静）接地必须位于全部缆线离开系统的点上。供电和接地平面必须同等对待，因为这两种平面都是射频返回电流的可能路径。从交换装置到 I/O 控制电路的射频返回电流，会将高频宽的交换式射频噪声带至 I/O 缆线和互联机路中。

为了建立一个安静的区域，所以必须做分割。这个安静区域可能是：

1. 100%与 I/O 讯号隔离，讯号不管是进入或离开都必须透过一个隔离的变压器。
2. 数据线路（data line）必须过滤。
3. 透过一个高阻抗共模电感来过滤，或者使用一个铁粉芯导线（ferrite bead-on-lead）来保护。

分割的主要目的是要把不干净的供电、接地平面和其它功能区域，与干净或安静的区域分开。

隔离和分割

隔离和分割是指组件、电路、供电平面从其它功能装置、区域和子系统中分开。若允许射频电流以辐射或电导方式，被传送至电路板的其它部位，这不仅会造成 EMI 问题，也会破坏应有的正常功能。

隔离是使电路板上的某区域之所有平面没有铜线存在，此没有铜线存在的区域被称为「壕沟 (moat)」。没有铜线存在的区域宽度通常是 0.05 英寸。换句话说，一个隔离的区域是电路板上的一个「孤岛」，类似一个具有城池的城堡。只有那些需要与它作业或互连的走线，才能与这个隔离区域相连接。对讯号和走线而言，「壕沟」就是一个隔离地带，这些讯号和走线与隔离区域、或隔离区域的接口无关。

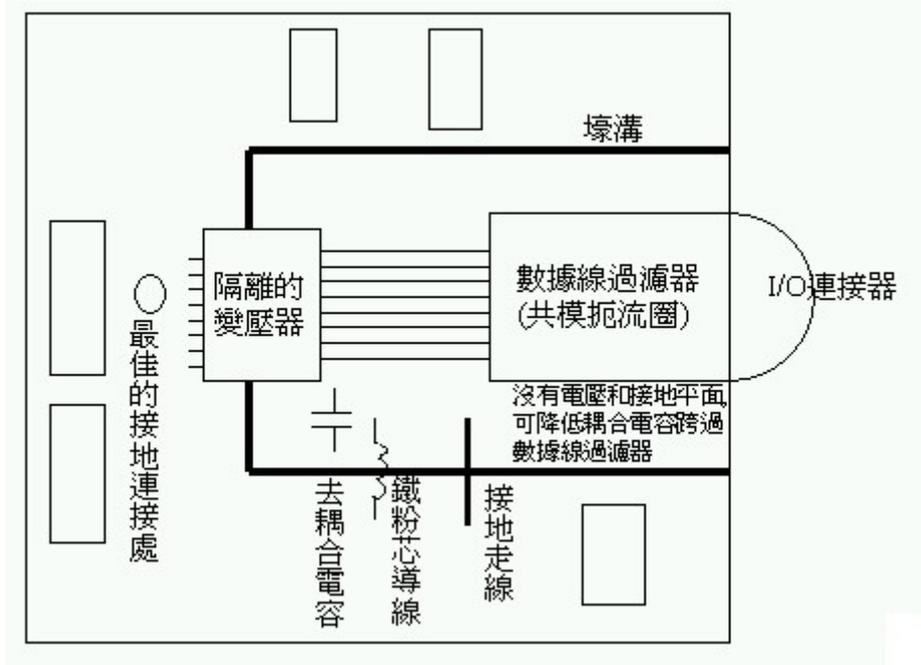
有两种方法可以将走线、供电、接地平面连接至这个「孤岛」上。第一种方法是使用隔离的变压器、光学隔离器、或共模数据线过滤器，来跨越「壕沟」。第二种方法是使用「壕沟」上的一个「桥梁」。隔离也被应用在将高频宽组件与低频电路分开的场合；此外，它也被应用于使 I/O 界面维持在低的 EMI 频宽----亦即从 I/O 互连电路传播出来的射频频谱大小。

方法一：隔离

这是使用隔离的变压器或光学隔离器来达成的。一个 I/O 区域必须与 PCB 的其它部位 100%隔绝。只有在金属的 I/O 连接器上，射频讯号会和底盘的接地平面结合，而且只有透过一个低阻抗、高质量的保护路径来接地。此外，必须将底盘的接地平面和这个隔离区域分开。有时由于设计的需要，必须在 I/O 缆线的屏蔽接地（或编织隔离）至底盘接地之间使用旁路电容，以取代直接连接。屏蔽接地或泄漏线路 (drain wire) 是指在接口连接器上的一根独立接脚或线路，和外部 I/O 缆线的内部泄漏线路与它的聚酯薄膜 (mylar foil) 屏蔽相连接，聚酯薄膜屏蔽也位于该缆线内部。

在任何情况下，都不能使用尾导线（pigtail wire）将 BNC 连接器的外层与底盘的接地面或任何接地系统 连接在一起。测量结果显示，同样在 15 至 200MHz 范围内工作的两个射频讯号，一个在尾导线内传输，另一个在对 BNC 连接器外层做 360 度连接的缆线屏蔽内传输，它们之间会有 40 至 50dB 的误差。这除了可以降低射频辐射以外，同时也可以提高 ESD 的免疫能力，因为当发生 ESD 时，它的导线电感值比较小。对大多数应用而言，最好能将缆线屏蔽连接至 BNC 连接器外层，并且做 360 度的连接。这个连接器后盖（backshell）最后和一个隔离壁（bulkhead）面板结合，此隔离壁包含了一个金属面，可以和底盘的接地面连接。

共模数据线过滤器可以和隔离的变压器结合，以延伸共模抑制（common-mode rejection）的效果。共模数据线过滤器（通常是螺旋管形）可以在模拟和数字讯号应用中使用。这些过滤器可以将讯号线至 I/O 区块或缆线中传输的共模射频电流降至最小。如果在隔离区域内需要电源和接地，例如：一个键盘或鼠标需要 +5 VDC，此时可以使用一个铁粉芯导线来穿越「壕沟」，藉此形成电源走线和一条回传走线，此回传走线的宽度是电源走线的三倍。使用一个共模的螺旋管体（toroid）来连接电源和接地，也是一种合适的方法。必要时，二次侧的短路保险丝（为了保护产品的使用安全）可以位于铁粉芯的任何一边。有时，必须使用去耦合电容，来移除已经过滤过的 I/O 电源中的数字噪声。这个额外的去耦合电容之一端可以位于铁粉芯的过滤侧（输出端），另一端位于隔离的接地平面上。电源过滤组件可以跨越过「壕沟」，在电路板的最外侧边缘上。电源与接地走线必须彼此相邻，以减少射频接地回路的大小；如果它们分别位于「壕沟」的两侧，彼此相对的话，在它们之间就会产生射频接地回路。范例详如附图二所示。



图二：使用隔离法来跨越「壕沟」

方法二：桥接

这个方法是使用一个「桥接电路」，它位于一个控制区块与一个隔离区域之间。桥接的位置是位于「壕沟」无法流通的地方。透过它，讯号走线、电源与接地线都可以通过「壕沟」。如附图三所示。任何与 I/O 线路无关的走线如果通过了「壕沟」，就可能会造成射频辐射和 ESD 的问题。其所产生的射频回路电流，如附图四所示。射频电流必须沿着它们的走线路径「映像 (image)」回来。在两个不同区域之间，会产生共模噪声。和方法一不同的是：电源和接地平面是直接连接至这两个不同区域之间。因此，这个方法形成了一个分割。

使用桥接法的好处是和城堡被「城池」包围的好处类似。只有那些拥有「护照」的讯号，可以通过这个「桥梁」。由于射频返回电流必须沿着它们的走线路径「映像」回来，所以可以使磁通量最小化。这个映像返回路径是唯一的，而且只有一条返回路径存在----那就是「这座桥」。

有时，只有电源平面是隔离的，而接地平面则可以透过「这座桥」被完整连接。这种技术常被使用于需要共同接地、或个别过滤的电路，它们都需要稳定的电源。在这种情况下，通常会使用铁粉芯导线来跨越「壕沟」，但只有已经过滤过的电源可以这么做。这个铁粉芯必须位于桥梁区域，而且不能跨过「壕沟」。如果在隔离区域内不需要模拟或数字电源，则这个未使用到的电源平面可以再次被定义为第二个 0V（接地）平面，且参考到主要的接地平面。当使用一个「分

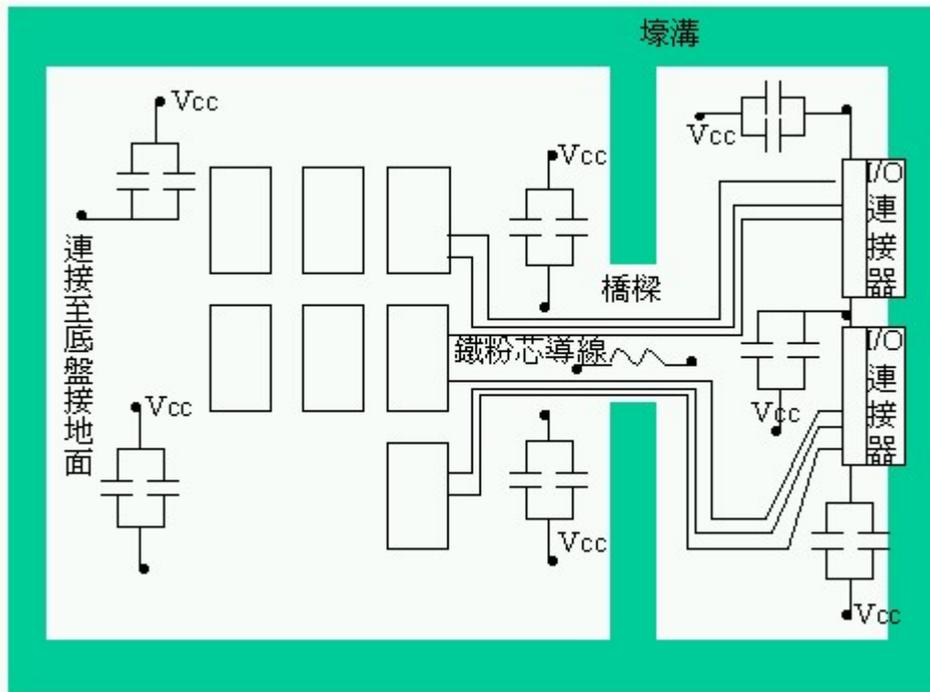
割平面 (split plane) 时, 必须保证穿越过「桥梁」的走线, 确实沿着一个 0V 的参考 (接地) 平面而行, 而且不是沿着分割的电源平面。

当使用桥接法时, 如果底盘和系统级设计有提供多点接地 (multipoint ground), 那最好能将「桥梁」的两端与底盘或框架 (frame) 一起接地。将进出口与「桥梁」接地, 可以执行下列两项功能:

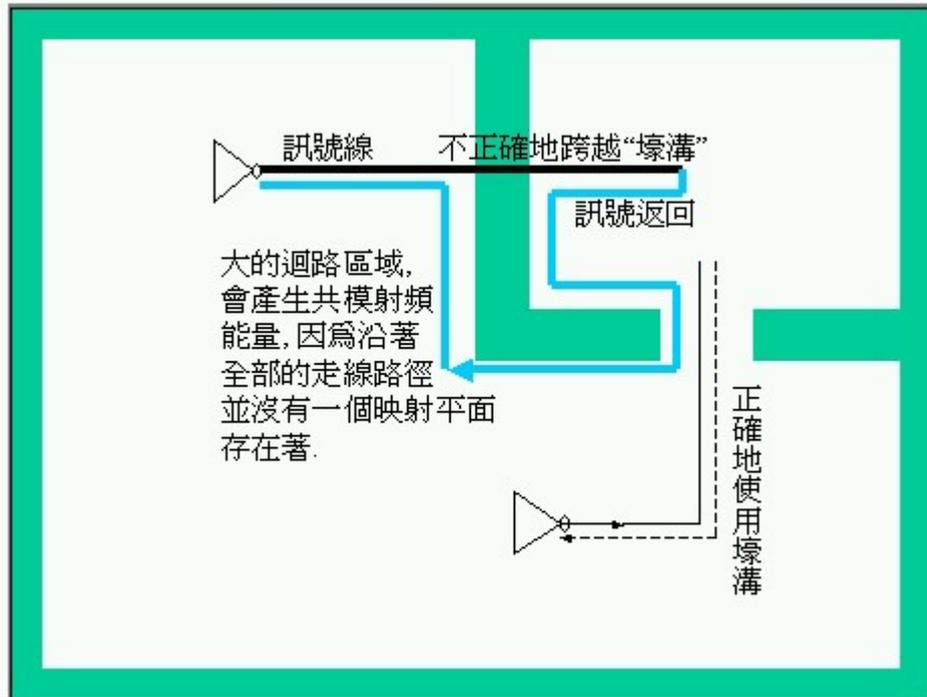
1. 它可以移除在供电网络中的高频的共模射频成份 (接地噪声电压), 避免它被耦合至分割的区域内。

2. 它可以移除涡流 (eddy current), 这种电流可能存在于底盘或适配卡插件箱 (card cage) 内。藉此, 能够改善接地回路控制。

一个阻抗更小的路径可以当成射频电流的接地面, 如果没有它, 射频电流会经由其它路径到达底盘的接地面, 譬如: 在 I/O 缆线内的射频电流。



图三: 跨越「壕沟」的「桥梁」



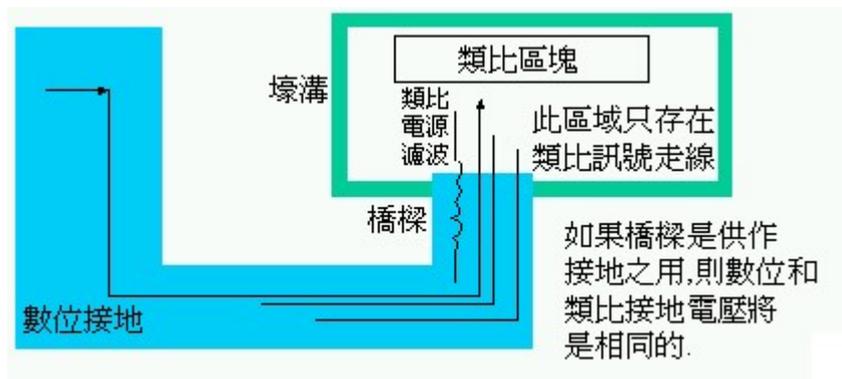
图四：不正确使用「壕沟」的例子

将「桥梁」的两端接地也可以增加 ESD 的免疫能力。如果有一个高能量脉冲被注入至 I/O 连接器中，这个能量可能会跑到主控区域，并造成永久性的伤害。因此，这个能量脉冲必须经由一个阻抗非常小的路径，流向底盘的接地面。

将「桥梁」的两端接地的另一个理由是，可以去 除射频接地噪声电压，这个噪声电压是由于分割区域和主控区域之间所存在的电压差造成的。如果射频共模噪声包含了高频的射频能量，则必须在每一个底盘接地点上，使用去耦合电容来移除此射频能量（交流波形）。附图四是当使用数字和模拟分割时，走线要如何绕线的情形。由于数字供电平面的切换噪声（switching noise）可能会注入至模拟区块内，所以必须采用隔离或过滤方法。从数字绕至模拟区块的所有走线必须经过「桥梁」。对模拟电源而言，必须使用一个铁粉芯导线来跨越「壕沟」。也可能需要一个稳压器（voltage regulator）。通常，「壕沟」是 100%地围绕着被分割的模拟电源区域。

某些模拟组件需要将模拟接地与数字接地连接起来，不过这必须经由一个「桥梁」才行。如附图五所示。有许多模拟-数字和数字-模拟装置，在同一个封装构造内，将它们的模拟接地（AGND）和数字接地（DGND）连接在一起。当一个组件内部是采用这种分割方法来设计时，则在 PCB 布线时，模拟和数字接地只需要一个接地连接线（亦即，共享一个接地线）。只有当组件内部有将 AGND 和 DGND 分开时，AGND 和 DGND 才需要彼此以「壕沟」隔开。在 进行 PCB

布线时，工程师必须事先询问组件供货商，要如何正确地隔离或连接 AGND 和 DGND。

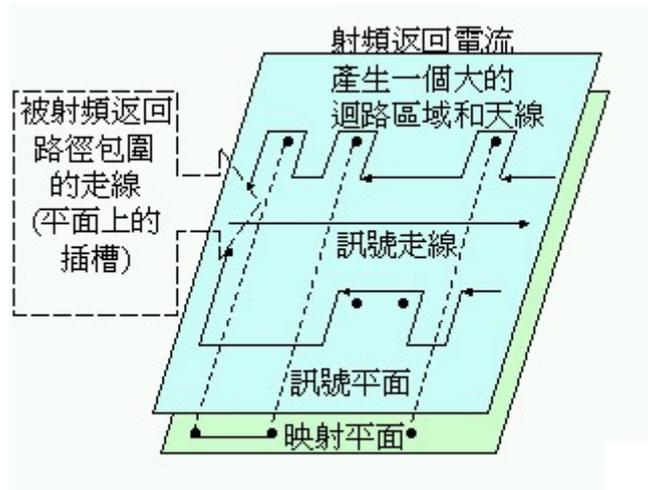


图五：数字和模拟分割的概念

不正确地使用映射平面

映射平面虽然很好用，但是如果错误地使用它，将会造成严重的电磁干扰问题。一个映像平面要能够有效，所有的讯号走线必须与一个固定平面相邻，而且不能跨越铜线的隔离区域。不过，使用某些特殊的走线绕线技术却是例外。如果一条讯号走线，或甚至一条电源走线（例如：在+5 V 电源平面上的一条+12 V 走线）在一个固定平面内绕线，则这个固定平面将被切割成许多个小部份。一个接地或射频讯号返回回路的设计规则，目前已经被建立起来，这是在相邻的电路板层之间测量射频返回电流的大小。这种电流的存在代表了映射平面并没有被正确地使用。这种射频回路的产生，是因为射频电流无法在讯号走线内找到一条直接的、低阻抗的返回路径。

附图六说明了映射平面被不正确地使用的情形。这些平面现在已经无法成为一个固定的 0 V 参考点，以去除共模的射频电流。由于平面的切割所造成的损失，最后可能会产生射频电场。在一个映射平面上的通孔（via）并不会减弱该平面的映射能力，但接地插槽（ground slot）除外。



图六：走线不正确地使用映射平面

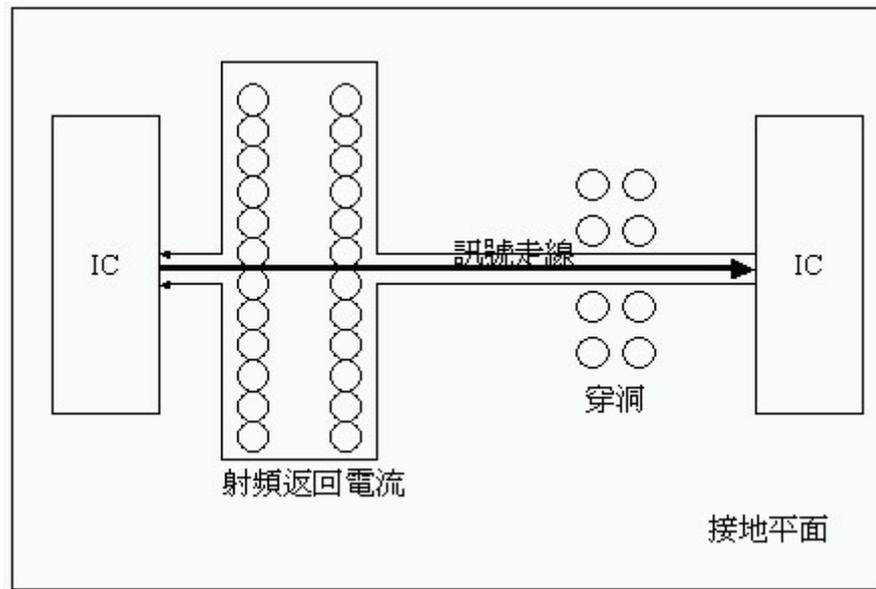
另一个与接地平面的不连续性有关之议题是：使用穿洞（through-hole）组件。在一个电源或接地平面上使用过多的穿洞组件，将会产生所谓的「瑞士奶酪病症（Swiss Cheese Syndrome）」。由于穿洞太多，许多洞都彼此重叠，致使平面上的铜区块减少，不连续的区域就变大了。这个效应如附图七所示。在映射平面上的返回电流是沿着洞孔边缘流动，而讯号走线则是以直线路径跨越不连续的区块。如附图七所示，在接地平面上的返回电流必须绕过插槽或洞孔。其结果是，必须增加走线的长度，才能传送返回电流。增长的走线长度会使返回走线的电感值增加。因为 $E = L(di/dt)$ ，当返回路径的电感值增加时，讯号走线与射频电流返回路径之间的差模耦合效果就会降低，磁通相抵（flux cancellation）的效果也会减少。对洞孔不是很大的穿洞组件而言----其接脚之间仍然具有空间，降低讯号和返回电流的最佳方法是：降低返回路径和固定平面上的电感值。

如果一条讯号走线是沿着穿洞区域（不连续区域）行走，则一个固定的映射平面（射频返回路径）将会沿着所有的讯号路径存在着。在附图七右侧，因为接地平面没有不连续，所以走线长度可以缩短。相反的，在附图七左侧，如果走线长度增加，就会增加电感值。当走线长度增加后，会造成能量反射，破坏讯号的完整性和应有的功能，也会产生射频电流回路，如同天线一样。

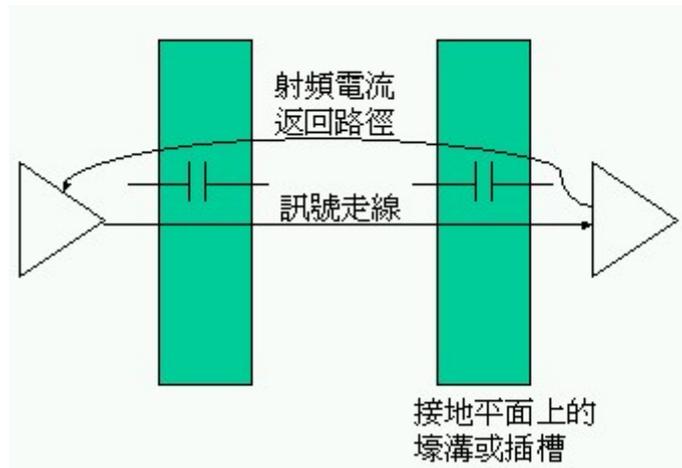
为了缩短走线的长度，而必须使讯号走线穿过 PCB 的插槽或洞孔时，在走线和洞孔附近空间之间必须遵守「3-W 法则」：走线之间的间距必须是单一走线宽度的三倍；或者说：两走线之间的间距 $>$ 单一走线宽度的两倍。

附图八是使用电容使射频返回电流能够穿越插槽或「壕沟」。此电容为射频电流提供了交流并联电路，藉此，射频电流可以穿越「壕沟」。它大约可以提高 20dB 的效能。不过，这种方法可能会在走线电流和它们的映射电流之间，产生

电抗 (reactance) 位移的现象，最后将使磁通相抵 (flux cancellation) 的效果减弱。所以，最好使用上述的隔离法或桥接法来解决。



图七：使用穿洞组件时的接地回路



图八：利用电容使射频返回电流可以穿越「壕沟」