

# 第四篇

电气装配、 试验对策、 性能摸底

# 钱振宇

# 第 1 章

设备电气设计和装配中应考虑的问题

钱振宇

## 1.1 设备电气设计的一般原则

在满足产品技术性能的前提下，要力求设计的线路简单，所用的元件数目最少。并且要求加工制作工艺成熟，运行安全，性能稳定可靠，操作简便，维护性好。设计方案要经过严格论证，要综合电路设计人员、结构造型设计人员、工艺设计人员的共同意见，制定出尽可能完善的方案。各项性能参数必须符合相关的标准。技术参数不求高，但务求实用。为了做到这些，提出下列原则供参考：

设计中应考虑系统稳定性、可靠性、可检测性和可维护性的相关措施。

注意元件的可靠性，尽量选用集成度高的电路，尽量用集成电路来代替分离元件。元器件和电气配件尽可能选用经过认证的、著名品牌的可靠产品。

设备中的电路和电气布局力求美观整齐、操作方便、工艺合理、维护装拆安全方便。同一规格、品种的电气配件尽量放在一起或对称排布。元器件的安装与接线不应使设备的正常功能由于受到元器件、接线的相互作用（如发热、电弧、振动等因素）而受到损伤和产生误动作。

机柜内部的金属部件要以尽可能大的面积保持和机柜、部件的相互接触，以保证导电性连接，避免通过涂漆部分相互连接。在机柜内要使用接地铜排，并通过连线与机柜门连接，连接线要尽量粗和短。

## 1.2 设备中元器件、电气配件排布和安装的原则

设备中，零部件和元器件安装排布的合理性将直接关系到产品性能的好坏、装配质量及成本的高低。因此，在整个设计中首先要考虑内部结构安排的合理和美观，尽量减少来回走线，只有最合理的排布才能加工装配出理想的设备来。下面是设备的排布则和装配中的注意事项：

元器件、电气配件的排布必须符合元件本身的规定和安装规范要求。并根据电路原理尽量使它们靠近安排，从而减少来回走线，并为今后绘制合理的走线图奠定基础。

对于大功率整流管、滤波电感、大的滤波电容、电源变压器、大功率泄放电阻等，因其体积、质量均较大，应尽量安排在设备的底座上，或者偏下的位置上，以保持设备重心的稳定。同时其走线也不得在这些元件表面经过，若必须经过，也必须留出高度为5cm以上的空间（视元件所散发的热量决定具体尺寸）。

瞬间动作的电气器件，如交直流接触器、大的开关和继电器等，必须垂直安装，以保证其在通电或断电时，触点能正确分合，不产生误动作。由于这些部件在动作时的振动较大，故也应当将它们安装在设备底部位置，并且不要与中间继电器、时间继电器、精密计量元件（如电表、分流器和调测元件等）放在同一块安装板上。再者，这些部件与中间继电器、时间继电器、精密计量元件的安装板也要拉开一定距离，避免相互间产生干扰。

对于有散热器的大功率元器件，由于局部产生的热量较大，故在其接触面上应加硅油、导电脂、紫铜箔、铝箔、薄云母或聚酯薄膜，以使接触良好、散热均匀，并应尽量考虑安排在通风、散热的位置。如在设备的底座后部或两侧空气易流通、排热的位置。

对于控制继电器，应尽量安排在底板左、右侧边的位置，以便于拆卸和维修。

对于易发生故障的元器件，要尽量安装在靠外面、便于维修更换的地方，并保留足够的空间（如可以拆换接触器上的线圈或触点），及足够安全的飞弧距离。

对于有振动的器件，安装时要采取减震措施，如添加减震器和减震垫。对安装的螺丝，应采取防松动措施（如加弹簧垫圈）。

对于在地面上放置的设备，要注意将开关、调节手柄、旋钮等元件安装在便于操作的位置，元器件的中心线尽量不要超过设备基础地面1.8m的位置；对于需要读取数据的指示仪器、仪表的安装高度，不要超出设备基础地面的2m；对于操作比较频繁的各种空气开关、按钮，应尽量安装在设备的操作方便、力矩最小的位置，一般安装在门上，离地高度在1.3 ~ 1.5m的位置上。

指示灯一般均放在面板或正面门上，处于整体的中部偏上位置，颜色尽量一致，尽量不要交叉。

防雷模块尽量安排在被保护线路的进线部位，注意留出修理和调换的空间，最好能有有机玻璃罩壳予以保护。压敏电阻的安装位置与此相同，附近应没有其他电源线和信号线经过。

大电解电容必须垂直安装，防止漏液、漏电。每个电容应有单独的夹件，防止设备在运输过程中因松动而造成正负极的松脱或外壳塑料包膜的损坏。同时还要考虑与整机绝缘的相应措施。直流电源和和直流变换器的滤波电容应安装在靠近输出端子的地方，从而降低输出信号的杂音电平和交流哼声。

大电流熔断器的瓷底座在安装时，应尽量安排在整机设备的上部，及插口朝外的位置，以便插拔自如。在其上下两边安装固定时，应按对角线顺序逐步紧固，防止由于内应力原因造成瓷底座开裂。

易受电磁干扰的元器件，应尽量安装在远离电磁干扰源的地方。

与变压器、电感器直接用导线连接的元器件（如可控硅、大电阻器、电容器等），应尽量装在靠近变压器、电感器的位置附近，以便减少导线的长度和连接点的数目。

给用户使用的端子排，一般应安装在超出设备底部30cm的位置上。当考虑水平安装时，端子排应与地面成45度角；当需要垂直安装在机柜后部时，则应靠近右端，且与后门成45度角；若需要用两只端子排，其间距应大于15cm。端子排与后机柜立柱之间的距离应大于10cm，且与正面成45度角，以保证用户接线方便。另外，还应注意为用户留出固定电缆的空间位置。

对于带电、且有紧固功能的紧固件，必须使用铜质螺丝。

## 1.3 导线的排布

设备中导线排布的原则，就是尽可能让机柜中各电气零部件间的电气连接线有最经济、合理的布局。

### 1.3.1 导线排布时应注意的问题

导线或导线束不得紧贴金属物体敷设。如果确实需要穿过机柜或金属安装板的过孔，必须通过橡皮圈或塑料绝缘圈来过度，防止在运输、使用、试验、维修过程中造成导线磨损而产生短路。

设备中的连接线应考虑走线为最短，而且要使装配、查线和维修都非常方便。布线要整齐美观，横平、竖直，折弯处成直角，层次分明。要防止来回重复拉线和连线的现象。一次回路和二次回路应尽量分在两边走线，以减少相互影响。若采用捆扎的导线束，对截面积为 $1.5\text{mm}^2$ 的导线，每束不要超过30根。在单相和三相交流电路中，导线应绞合起来，再扎到线束中去。对高频电路，走线尽量要短，一般不要采取捆扎形式。

在同一电路中，平行导线不得扭绞、交叉，并应当捆扎在一起，当非屏蔽导线与屏蔽导线捆扎在一起时，屏蔽线应放在下面。

导线或线束应当尽量远离发热量较大元件（如变压器、电感器）。如无法避免，应加保护措施，如捆扎玻璃布带、聚四氟乙烯带等，防止导线绝缘层因烘烤变质而产生短路和击穿。

连接发热元件（如大功率晶体管、散热器上的元器件、管形或矩形电阻器等）上的导线，要考虑到发热元件对导线绝缘的影响，而采取相应措施，如规定要在发热元件下方30mm（或以上）才允许走线（具体尺寸视发热情况定）。附表21列出了发热元件与导线之间所保持距离的参考数据。

熔断器、空气开关、组合开关的走线均应上进、下出，不得接反；数显表必须注意电源线与信号线不得接反；不在印刷板上的元器件的焊点必须套黄腊套管或热缩套管；铜排之间不允许横穿线。

交、直流线，高、低压线，动力电源线与信号线应相互分开，并保持一定距离。切忌混装、混扎，防止造成相互干扰、击穿或短路问题的出现。

各种控制线、信号线，能进走线槽的，尽量设计和安装纵、横的走线槽。槽内束线必须理顺，减少混乱，以增加美观和维修的方便性。若因电路需要，在机柜同侧需装两排走线槽或端子排时，它们之间的距离应大于150mm。

对于不进入走线槽中的电缆或母线，须配有应力相当的支撑。另外，在走线当中，每过一定距离要有一定的捆扎，保证线缆走线挺括。

接至各接头上的连接导线（一般指 $2.5\text{mm}^2$ 及以上的导线）的端部，要经过铜接头牢靠压接后再接在端头上。在每根导线的中间不得有插焊、或焊接有过渡导线的接头。

凡经过压、焊铜接头或焊片的导线，在其压、焊处需套上黑色热缩套管， $6$ 以下套管的长度为 $15\text{mm}$ ， $6$ 以上的粗套管长度一般为 $30\text{mm}$ 左右。但同一排接线端子所用的套管必须一致，并用电吹风将热缩套管紧缩在铜接头或焊片上。注意，不能套到安装孔位部分，避免安装时接触不良。

通常在一个连接端子上只能连接一根导线（特殊情况允许两根，但必须连接牢靠）。当一个端子需要连接两根以上的导线时，应具备确保可靠接触的技术措施。无论采用哪种方法（如螺接、焊接、插接或绕接等），连接必须牢靠、接触必须良好，且不得有松动。

接头的选择要正确，小接头用压线钳压紧、搪锡、套热缩套管，不允许有松动。大接头用油压钳或冲床压牢、搪锡，再套热缩套管。

**2.5mm<sup>2</sup>至6mm<sup>2</sup>的单股导线与螺钉连接时，必须做到剥线无伤痕，连接部分的裸露导线须扳成圆圈，顺丝摆放，且大小刚好套进铜制螺丝。对多股导线必须压铜接头，搪锡。**

**在导线受到弯曲或拉伸的部位，如门上的电气部件与机柜内部的电气部件的连接，应采用具有同等截面的多芯软导线。并留有足够的长度，防止因过分拉伸而损伤导线绝缘或接头的可靠连接。此时还应设有固定线束的支架，不允许线束自由悬吊。同时线束外层应加套塑料蛇形管来起到拉压的缓冲作用。**

各连接导线应具备与使用电压相适应的绝缘电压等级匹配的绝缘层。

为减少电磁辐射的影响，导线束应尽量在机柜两侧排布，并应尽量减少环路的形成。同时应分门别类将互不干扰的，以及相互容易干扰的导线分开布设，并进入对应的两侧走线槽。对于需要屏蔽的导线，要进行屏蔽与隔离。对于走线较长的信号线，可采用双芯屏蔽线等措施，以克服电磁干扰。

当机柜中设有铜排，则导线与铜排的连接均应通过铜接头实现。

## 1.3.2 汇流排设计、排布与安装的注意事项

对于低压大电流系统，一般以紫铜或铝加工成汇流排，一方面安全可靠，另一方面实用美观。在设计、安装时要注意以下几点：

汇流排常用矩形导体制成，在环境温度25℃时，铝导体的电流密度约为 $3\text{A}/\text{mm}^2$ ；铜导体的电流密度约为 $4\text{A}/\text{mm}^2$ 。不同环境温度时的电流密度应作适当修正，平均环境温度每升高5℃时，电流密度应降低5%。裸露的汇流排必须平直，表面不得有毛刺、严重划伤、压伤、磕碰、凹坑、明显的痕印和起皮等缺陷；弯曲处无裂痕；端头及连接处还应进行相应的工艺处理，从而保证导电良好。汇流排接触面应平整，并采取防电化学措施，如镀锡、镀镍等以减少接触电阻。

设计安装时应避免汇流排的纵横交叉，流汇排之间也不得有导线穿过。铜排相互连接时，应在其接触面上涂覆导电胶，同时要保证接触良好。

对与汇流排连接的器件，必须留有足够的拆装空间。

与汇流排连接的器件或载流导体，在其连接的地方，不得有绝缘漆或热缩管存在。

对主电路汇流排的相序排列应符合上A、中B、下C、最下为中线；或左A、中B、右C、最右为中线；或里A、中B、外C、最外为中线的规则。对直流电路，其排列应符合上正、下负；或左正、右负；或里正、外负的规则。

对汇流排，每超过0.5m至1m（视机柜尺寸和汇流排的尺寸），应增加一支撑点予以固定。

汇流排与汇流排之间，汇流排与其他金属之间的距离不得小于20mm。

汇流排一般做成扁平形状，在考虑操作方便性，或防止影响其他零部件的安装，而必须增加操作空间时，允许改变截面的比例，但以保持截面积基本不变为原则。

## 1.4 安全与可靠性

安全与可靠性是设备现场运行中最关键的因素。

### 1.4.1 绝缘与抗电强度

电源高压端（指 110V的交流电）及高压导线要与机柜、机壳绝缘。不要将电源输入端的接线柱直接安装在外壳固定孔上，而应当在垫衬高性能的绝缘板后再安装在机壳上。同时要远离接地线，防止短路。同时高压与低压部分必须要保持一定距离。

接线柱的距离与所施电压及表面干湿程度有关：

所施电压 (V)	最小间距 (mm)	
	干表面	湿表面
0 ~ 150	6.4	6.4
151 ~ 300	6.4	9.5
301 ~ 600	9.5	12.7

设备内两导体间、导体与裸露的不带电导体间的最小距离应符合下表:

额定绝缘电压(V)	爬电距离 ( mm )				电气间隙 ( mm )			
	63A		63A		63A		63A	
	a	b	a	b	c	d	c	d
60	2	3	3	4	2	3	3	5
61 ~ 250	3	4	5	8	3	5	5	6
251 ~ 380	4	6	6	10	4	6	6	8
381 ~ 500	6	10	8	12	6	8	8	10

表中：a-绝缘材料（如电瓷件、玻璃、云母及云母制品）、热固性塑料（如氨基塑料、酚醛塑料及玻璃布板等）；b-绝缘材料（如酚醛纸板、石棉板等）；c-两带电的导电零件之间的距离；d-带电的导电零件和裸露易碰的导电零件之间的距离。

**注： 当电气间隙d的数值大于a或b相应的爬电距离时，从带电的导电零件到裸露易碰的不带电的导电零件的爬电距离应不小于电气间距；**

**当设备主回路与控制电路或辅助回路的额定电压或额定电流不一致时；其电气间隙和爬电距离可分别按其额定值选取；**

**主回路带电的导电零件与控制回路带电零件之间的电气间隙，应按最高额定电压和额定电流选取。**

电源部分的电气元件与另一导电部件之间的爬电距离和电气间隙不得低于下表：

额定绝缘电压 (V)	爬电距离 (mm)	电气间隙 (mm)
300	10	6
301 ~ 660	14	8
661 ~ 800	20	10
801 ~ 1500	28	14

设备中各带电回路与地之间（指该回路不直接接地时）的绝缘电阻应不小于2M（此点仅作绝缘强度试验时考虑）。

带电回路与金属外壳或地之间，以及非电连接的两个带电回路之间的绝缘电压应符合下述两表的要求（时间1分钟，应无击穿或闪络现象）：

额定绝缘电压（V）	绝缘强度试验电压有效值（V）
60	1000
61 ~ 300	2000
301 ~ 660	2500

不直接与主电路连接的辅助电路的额定绝缘电压（V）	绝缘强度试验电压有效值（V）
12	250
13 ~ 60	500
61	1500

空气开关、相控开关、自动开关等大电流控制元件的排布，必须保证开关操作过程中产生的电弧对操作者不产生危险。故在电气设计上应采取消弧电路的相关措施，及采取附加断弧板或灭弧罩。当选用反向二极管进行消弧时，其反向击穿电压不应低于1000V。

交流强电部分应有高压指示。当后门需打开操作或维修时，交流配电电源必须切断。

设备的金属壳体需在设备后视左侧焊有 M8的铜质接地螺母（或螺钉），如有需要，也可焊接具有接地螺母排的部件。接地螺母不能用于其他任何用途的机械紧固。同时要在接地处用文字“G”、“GR”、“GND”或其他类似的接地符号来表明。

## 1.4.2 电磁干扰与防护

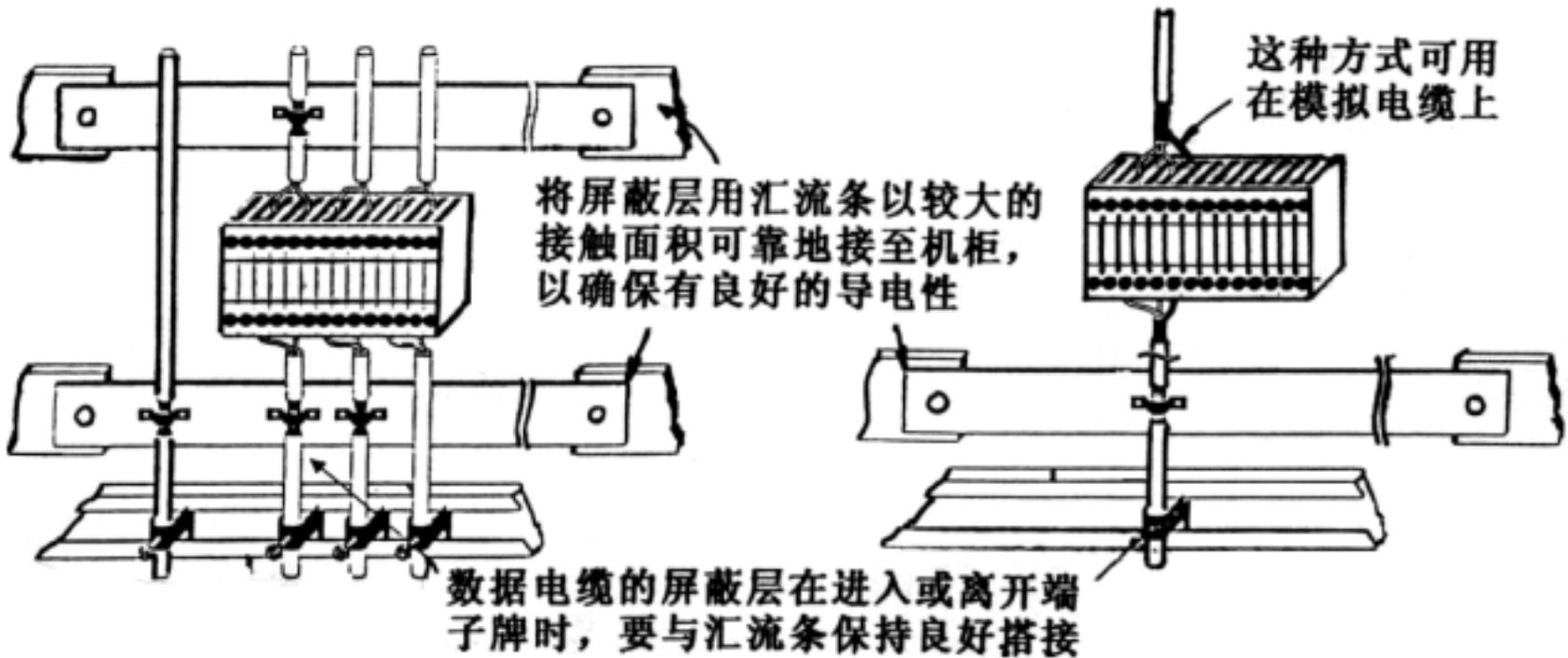
由于整机内部元器件、导线会产生电场、磁场间的相互干扰，及泄漏磁场，从而对某些电路或特殊元件产生干扰，对设备的可靠性、稳定性、安全性造成直接影响。故必须采取一定措施，使干扰的影响变得最小。具体措施主要有两种：一种是屏蔽容易产生电、磁场的器件；另一种是屏蔽某些不能受电、磁场干扰的器件（如信号采集电路、微控制电路、微功耗显示器件等）。常用的方法是采用屏蔽线、金属罩、网等方法，并进行良好接地。

电源线、信号线、控制线和接地线若靠近在一起，将会引起相互间的干扰感应；还会通过中电平线路的相互耦合，互为影响。因此，对走线的精心设计是减少干扰的一个很重要的措施。一般在布线设计时，要分析各连线的功能及所起的影响，并尽可能地合理运用机柜的有效空间。

在设备的机柜内，场（指电场和磁场）的辐射强度，随着与场源间距的增加而迅速衰减，故应尽量使机柜内的布线远离场源区，能进入机柜两侧走线槽的应尽量进入。同时使走线越短越好，防止走线形成环路及走回头路。

在不产生相互干扰和电路间相互耦合的情况下，相同走向的导线和屏蔽线均可设计在同一线束中。

将互不干扰与互相干扰的两类线缆，按机柜设计走线分开布设的原则，对需屏蔽的导线要考虑屏蔽与隔离。屏蔽线的屏蔽层一定要良好接地。其中，对于数字电缆，屏蔽层要求两端接地（在信号的源和目的两侧），接触面积要大，保证接线可靠。通常可以在机柜上多接几次地，在这种情况下不要使用膜式屏蔽。对于模拟电缆，接地视应用情况定，对波动与偏差测量的低频场合，屏蔽层应单端接地。在这种情况下，屏蔽线应使用护套（屏蔽层的另外一端可通过100nF/100V的电容接地，以提供高频保护）。对有高频通过的电缆，则要求两端接地，且保证是等电位连结。关于电缆线屏蔽层的连接，可参看下图所示。



对地线进行分类，有数字地、模拟地、电源地、机壳地、总接地等。而上述屏蔽、隔离接地是指电源的总接地而言的。

对圆筒大型电感器的固定，往往从中心穿孔并以螺丝紧固，此时必须用非磁性的螺栓固定才能起到应有效果。

霍尔传感器、互感器、小电流表、分流器，以及容易受电磁干扰的电路、元器件和放大器等应尽量远离其他容易造成电磁干扰的源，避免接受干扰的影响。

设备的防雷模块、压敏电阻应尽量在电源入口处安装。发生雷击时，防雷器件有可能爆裂，为此，如有可能最好罩一个有机玻璃的外壳，一起安装固定。同时为防止雷电吸收时强烈的电流变化对周围线路形成干扰，要求在其周围应无信号线和电源线经过。

### 1.4.3 设备的可靠性

提高设备可靠性的内容很多，诸如选择性能优、可靠性高的关键材料和电子元器件，并进行严格筛选；对系统中的电压、电流、功率等应力进行降额设计；对系统使用的环境温度应力，要作高一个等级的增额设计；采用工作状态、待机状态的容错设计；选用对高温的元器件和加大发热元件散热效果的热设计；提高电路工作效率，使其内部损耗最小的电路优化设计；为抑制静电干扰，而采用各项防静电的设计措施；机柜结构的可靠性设计；注意屏蔽和良好接地来抑制干扰；组装接线并加强全过程的工艺质量控制；对主要工序进行检测筛选；对整机系统进行加强老化试验等等。不一一详述。

## 1.5 结束语

在竞争如此激烈的今天，一个企业要想在市场中占得一席之地，就必须从产品设计伊始，经过电气、结构、工艺的最佳设计，注意设备内部的合理排布，装配上的严格把关，最终才能制出适销对路产品。对于以上的每一步，任何企业都不能掉以轻心。

## 附录：机柜间的线缆处理原则

下面提出一些机柜间的线缆处理原则，供参考。

- 要尽可能让信号电缆从每个机柜的一侧进入机柜，并且要尽可能接近接地的金属板。
- 对机柜的接地，要用备份的接地线，在机柜的两个端子上接地。
- 噪声电缆和敏感电缆要尽可能分开；走线部分应考虑直角交叉。做不到时，应考虑采用屏蔽电缆。
- 不同类型的信号应归在不同的组合电缆中。即使同是小信号的电缆也要区分模拟和数字信号，在它们的外面再覆屏蔽层给以保护。

- 对长距离走线，应放在走线槽内。在同一根走线槽内也要区分敏感电缆与噪声电缆，必要时要在敏感电缆与噪声电缆之间采取分隔措施。走线槽要良好接地。
- 对于非常敏感的电缆，则应单独处理（放在走线槽外，单独套钢管，同时钢管要良好接地）。
- 走线槽内电缆集中时，还要加盖，这对电缆避免与现场信号之间的交叉感染有好处。
- 对连线用的插头，一般要求将插头引线的布局分隔开来，模拟与模拟、数字与数字分别集中在一起，在模拟与数字的靠近部分则布置0伏线（模拟的0伏线与数字的0伏线）。
- 信号线与信号回线要尽可能地靠近，以求有最小的环路面积。

·机柜要接大地，这对保护人员的安全很重要。但接地不当，有可能通过大地形成地环路，对信号形成干扰。在落地式大型设备中，有将内部线路地直接连至机柜接大地端子的，也有截然分开的。在简单设备中可取前者，然后与大地连接。对于由两台设备组成系统的接地情况说，两台设备外壳与地板是绝缘的；信号地与机柜的接地端子是分开的（分别接一点，故设备噪声电流不会流到信号地，就不会造成基准电位的变动），两个机柜的信号地分别接大地，也不会发生地线电流的相互干扰。参见附图。

