目录

1. 概述 …… 3
1.1 控制电子元器件选择与使用的重要性 ……3
1.2 国内外电子元器件的控制措施 ……3
1.3 元器件选择与控制的基本原则 ……3
1.4 元器件的批准 ……4
1.5 关键的元器件 ……5
2. 电阻器的选择与应用 ……7
2.1 概述 ……7
2.2 电阻器的选择指南 ……8
2.3 电阻器的应用指南 ……8
3. 电容器的选择与使用 ……14
3.1 电容器的分类 ……14
3.2 电容器的选择指南 ……14
3.3 电容器的应用指南 ……16
4. 继电器的选择与使用 ……22
4.1 继电器的选择 ……22
4.2 继电器的应用考虑 ……22
5. 开关的选择与使用 ……23
5.1 开关的选择 ……22
5.2 开关的应用 ……22
6. 电连接器的选择与使用 ……23
6.1 电连接器的选择 ……23
6.2 电连接器的应用 ……23
7. 电缆的选择与使用 ……24
7.1 电缆的选择 ……24
7.2 电缆的应用 ……24
8. 磁性元件的选择与使用 ……25
8.1 磁性元件的选择 ……25
8.2 磁性元件的应用 ……25
9. 二极管的选择与使用 ……26
9.1 二极管的分类及一般选择要求 ……26
9.2 各种二极管的应用考虑 ……26
10. 晶体管的选择与使用 ……29
10.1 晶体管的一般选择 ……29

10.2 各种晶体管的选择要求和应用考虑 ……29
11. 微电路的选择与应用 ……31
11.1 微电路选择的一般要求 ……31
11.2 微电路应用的一般考虑 ……33
11.3 数字微电路选择的一般要求 ……35
11.4 数字微电路应用考虑 ……36
11.5 模拟电路的选择与应用 ……40
11.6 接口微电路的选择与应用 ……63
11.7 微处理器、微控制器与存储存储电路的选择与应用 ……75
11.8 混合微电路的选择与应用 ……79
12. 其它元器件的选择与应用 ……80
12.1 熔断器的选择与应用 ……80
12.2 晶体的选择与应用 ……80
12.3 指示灯的选择与应用选择 ……80
13. 电子元器件的静电防护 ……81
13.1 静电放电损伤 ……81
13.2 静电损伤的失效模式 ……81
13.3 静电放电敏感度 ……81
13.4 静电损伤的防护措施 ……81
14. 热设计指南 ……82
14.1 概述 ……82
14.2 温度对集成电路的影响 ……82
14.3 热设计指南 ……83
15. 保险丝的选择与使用 ……88
15.1 概述 ……88
15.2 保险丝的选择 ……89

电子元器件正确选择与使用

1. 概述

1.1 控制电子元器件选择与使用的重要性

一个系统由多个组件、部件组成，而每一个部件、组件均由元器件组成，因此，元器件是一个系统的基础。如果将一个系统比作金字塔的话，那么元器件则是这个金字塔的塔基。从可靠性角度出发，如果没有可靠的元器件，则没有可靠的系统。元器件的可靠性通常从两个方面来理解：一方面是元器件本身所固有的由设计和生产过程中所确定的质量、可靠性特性，即固有可靠性；另一方面是元器件在使用过程中实际所展现出来的可靠性特性，称之为使用可靠性。

当前，国内外电子设备所用元器件的使用可靠性问题比较突出，我公司也不例外，从失效分析数据可以看出，80％左右损坏的元器件是由于使用不当造成的。从 80 年代国外资料看由于元器件使用不当，造成设备或系统故障占总故障数的一半以上。由于公司目前采用的元器件有一定数量的国产元器件（另外为进口元件），国产元器件在质量和可靠性方面有一定差距，进口元器件也没有非常明确的可靠性要求。因此，为了达到国外电子设备的整机可靠性水平，我们公司必须下大力抓元器件的使用可靠性。元器件的使用可靠性工作是一项涉及方面非常广的工作，它始终贯穿于元器件的选取、采购到生产的全过程。本企标 《电子元器件的正确选择与使用》，从元器件的可靠性工作的主要环节，元器件的选择与正确使用入手，详细阐述了不同种类元器件的正确选择与正确使用应注意的事项。

1.2 国内外电子元器件的控制措施

表征元器件可靠性的主要参数为：元器件的基本失效率（λb）、质量等级及质量系数（π_Q）、工作失效率。元器件的基本失效率λb：表明某一大类元器件的失效率。质量等级：表明元器件在使用之前，在制造、试验及筛选过程中其质量的控制等级。质量系数π_Q ：是指不同质量等级对元器件工作失效率的影响。工作失效率$\lambda p = \lambda b \cdot \pi_Q$，国内外元器件质量的控制措施基本上是通过不同的筛选来达到不同的质量等级。公司的开发人员针对元器件在系统中的重要程度选择不同的质量等级，即选择了不同的筛选措施，选择了不同的失效率。目前，国内电子部已有相应的标准出台，国外也有相应的标准，选择时可作为依据。

1.3 元器件选择与控制的基本原则

元器件控制活动占元器件选择、应用和采购等全部工作的一大部分。控制任务包括的工作项目有：满足设计性能、可靠性及其他要求的元器件标准化、制定规范、合格鉴定和审批。

元器件选择的一般规则是尽量采用优选元器件。这种优选元器件是指在某些特定电、机械和环境限制范围内具有持续执行功能能力的产品。在设备设计和研制计划中使用优选元器件可以节约大量时间和大大减少编制文件的工作量。此外，还可以提高设备性能和可靠性，并能降低后勤保障费用。表 1.1 是元器件选择和控制的基本原则。

元器件控制的目标是：实现按费用设计，以节省寿命周期费用。达到此目标的方法是：①帮助设备或系统管理者按照要求选择元器件；②尽量减少新设计中所使用的元器件的种类；③提高设备及其备件的互换性；④节省资源。

表 1.1　元器件选择和控制基本原则

(a)　确定执行规定功能所需的元器件类型及其预期所处的工作环境

(b)　确定元器件的关键性

- 元器件是否执行关键的功能，即安全性或关键任务？
- 元器件的寿命是否是有限的？
- 元器件的设计至实际投产间的时间是否长？
- 元器件的可靠性是否易受影响？
- 元器件是否是贵重产品或者它是否需要正规的鉴定试验？

(c)　确定元器件的可获性

- 元器件是否是优选的？
- 元器件是否是可以从鉴定合格的厂家买到的标准产品？
- 元器件的正常交货周期是多长？
- 元器件在设备整个寿命周期内是否可以不断获得？
- 是否有合格的元器件采购规范？
- 是否有多渠道可利用的货源？

(d)　估计元器件在使用中将会受到的应力

(e)　确定元器件在使用中所需要的可靠性水平

(f)　适用的筛选方法及是否需二次筛选

(g)　编写准确和明了的元器件采购规范。为保证适当的可靠性，规范应当包括特定的筛选或质量一致性检验措施。

(h)　确定元器件在其预期的应用中的实际应力水平

(i)　使用与可靠性预计相一致的降额参数

(j)　确定对非优选元器件的要求

1.4 元器件的批准

尽管应采用优选的电子和机电器件，但是，有时也会有不可能或不适用于应用现有的优选元器件的情况。在这种情况下，就要求把元器件及采购规范提交批准，这包括编写文件和对系统中使用的元器件进行认可等活动。

1.4.1 元器件的合理性

所有元器件的采用都应按相应的标准证明其合理性。另外还需要：

① 提供足够的数据，以详细说明拟采用的元器件为什么是需要的，其中包括优点和缺点。对新技术器件、常规的混合电路和单片微型电路应当特别详细地提供，并且应当在系统研制周期的早期阶段提供；

② 提供证实电性能特性与长寿命可靠性保证准则相一致的数据；

③ 如果所需元器件受尺寸、费用或重量的限制时，应详细地说明对长期使用设备可靠性的影响。

1.4.2 元器件的应用

当打算把元器件应用在高于推荐的器件参数范围的场合时，应当补充证明其合理性。例如，如果把钽电容器用于超过一般应用的频率范围时，应当如实提供试验数据，以表明在系统或设备预期的寿命周期内工作时，电容器能够执行预期的电路功能而不致使可靠性降低。

1.4.3 元器件的参数

当打算把元器件应用在性能受某一基本元器件参数的影响的电路中时，如果该参数不受指定规范的控制，那么就应有充分的数据来证明该参数将保持稳定，另外，为了保证关键参数始终处于规定范围之内，或保证规范不具有致使费用增加过高或影响可用性的附加参数限制，还应有大量的数据证明相关参数被控制在所需的程度。

1.5 关键的元器件

元器件控制工作包括根据下述观点确认所有关键元器件、设备或部件及其被认为是关键的产品。

① 任务和安全性易受影响的（故障影响任务成功）产品；

② 可靠性易受影响的产品（根据早期的可靠性研究、分配等）；

③ 高费用产品；

④ 从设计到投产过程的时间很长的产品；

⑤ 要求进行正式的统计鉴定试验的产品。

能满足上述大多数或所有关键性要求的一些元器件种类，包括定做的大规模集成电路及混合电路均是关键元器件。这些元器件的关键性不仅涉及可靠性，也涉及费用和可用性。

这些元器件应当分成三类：

① 以前从未生产过的独特的元器件；

② 通过以前的系统使用已经鉴定合格的元器件；

③ 按用户要求制作的元器件。

在大多数情况下，所谓独特的元器件是指那些遇到的不可预计的费用和进度总是最多的元器件，因为它们需要在研制系统的同时进行研制，因此，可能出现问题。使用第二种元器件没有那么大风险，除非这种元器件是由独家生产的，并且生产方决定中断生产线并且对可能发生的严重问题又没有发出适当的警告。选用最后一种元器件风险是最小的，因为它是按用户要求定做的，但是也要注意，如果当定做的元器件已准备用于生产，而可靠性特性尚不完善，则会影响系统可靠性，因而也会影响费用和进度。

总之，最好是实行严格的元器件控制措施，限制使用独特的、定做的大规模集成电路或混合器件。这就要求在把元器件设计进系统之前履行详细的技术审查和批准手续。此外，必须要求系统规范把这些类型的元器件确定为可靠性的关键产品来控制。

2. 电阻器的选择与应用考虑

2.1 概述

2.1.1 电阻器的分类

电阻器从功能上可分为固定式和可变式（电位器）两大类。从结构上可分为合成型、薄膜型和线绕型三大类。

a. 合成电阻器

优点：体积小，过载能力强，价格低廉。

缺点：阻值稳定性差，热噪声和电流噪声大，电压系数和温度系数大。

主要用于初始容差不严于±5%，长期稳定性要求不高于±15%的电路中。我公司产品中几乎不采用这种电阻器。

b. 薄膜电阻器

薄膜电阻器包括金属膜、金属氧化膜和碳膜电阻器。

优点：高频性能好，电流噪声小，温度系数小，阻值范围宽，性能稳定。

缺点：功率较小。

主要用于要求高稳定、高精度、高频率、长寿命的场合。我公司的产品大量采用这种电阻器。

c. 线绕电阻器

优点：精度高，电流噪声小，温度系数和电压系数小，稳定性好，工作可靠，功率型的额定功率大。

缺点：体积大，不能用于高频（50KHz 以上）。

主要用于要求高稳定、高精度、功率较大的场合。

d. 电阻器网络

电阻器网络是用薄膜或厚膜工艺在一个绝缘陶瓷芯片上采用金属蒸发或金属、玻璃组合高温烧结加工而成，最常用的是固定薄膜电阻器网络。

电阻器网络装配密度高，各元件间的匹配性能和跟踪温度系数好，对时间、温度的稳定性好。

电阻器网络用于要求稳定、长寿命、可靠性和精度要求高的关键电路，也很适用于那些电路中需要大量阻值相同的电阻器的场合。

e. 电位器

电位器从用途上可分为普通、精密、微调、功率及专用电位器，从结构上又可分为合成电位器、薄膜电位器和线绕电位器。

2.2 电阻器的选择指南

2.2.1 电阻器、电位器类型的选择原则

a. 弄清楚设计电路对电阻器性能和质量等级的要求，了解各种类型电阻器、电位器的特点；

b. 从公司的《元器件优选目录》中选择合适的类型。

2.2.2 额定功率值的确定

确定电阻器电位器工作时的额定功耗，并考虑电阻器工作的环境温度对其的影响（按元件负荷特性的曲线要求）已及降额使用的要求；

2.2.3 最大工作电压的确定；

允许加到电阻器上的最大连续工作电压（DC 或 AC）称为最大工作电压。工作中，若实际电压超过这个规定值，电阻内部可能会产生火花，引起噪声，最后导致热损坏或击穿。

2.2.4 环境条件的影响

a. 热应力影响。

- 最高工作环境温度；
- 电阻器的最大温升；

b. 湿度的影响。在潮湿的环境中工作的电阻器应选择绝缘性能良好的电阻器并采取防潮湿措施；

c. 高频特性：应注意电阻值随频率的变化。

c. 机械应力（振动、冲击、加速度等）的影响。注意正确合理的安装固定，尤其是大的电阻器，并通过有关环境试验的考核，一般不采用 1/8W 以下的电阻器。

2.2.5 电位器输出特性的选择

电位器按照其输出特性的函数关系可分为线性和非线性两类。而非线性电位器又分为指数式、对数式和特殊函数式。作分压器用的电位器应选直线式；作音量控制用的电位器应选用指数式；作音调控制用的电位器应选对数式。

2.3 电阻器的应用指南

在电阻器的应用中，应严格遵守降额使用的有关要求。详见《元器件降额准则》Q/ZX04 001-1997。

2.3.1 电阻器的安装

电阻器的安装在很大程度上决定着热应力，冲击和振动的机械应力是如何从环境传到电阻器上的。散热不当是导致电阻器失效的最主要原因之一。

⑴ 大型电阻器除引线以外应当具备某些适当的安装手段，否则在振动和冲击条件下会发生引线失效，引线所支撑的质量越大，引线疲劳的可能性就越大。即使在振动或冲击不是严重问题的情况下，为了便于组装和更换，大型元件最好是分别安装。电阻器的安装方式应使电阻器本体不致相对于安装基座移动。应当指出的是，电阻器散热量是增加还是减少，这取决于夹紧装置是良好的还是不良的热导体。

⑵ 将引线长度保持在最短。引线与印制电路板的接点起散热片作用。

⑶ 在有温度变化的情况下，引线应当有余量（稍微弯曲），以允许热收缩和膨胀。

⑷ 容差严格和阻值低的电阻器需要特殊保证（即短引线和良好的焊接质量），因为引线的阻值和（或）不良的焊接能够构成电阻器的百分之几的电阻值。

⑸ 当电阻器成行或成排布局时，安排它们的间距时应当考虑通风效果和附近电阻器的散热，行或排内的电阻器都不得超过允许的最高热点温度。应当控制好电阻器间隙与电阻器功率额定值。

⑹ 当电阻器串联安装时，应当考虑热通过引线传导到下一个电阻器的问题。

⑺ 大功率电阻器必须安装在金属底座上，以便散热。

⑻ 不得在没有散热器的情况下将功率型电阻器直接装在接线端或印制电路板上。

⑼ 为了实现最有效的工作和均匀的热分布，应将功率电阻器安装在水平位置。

⑽ 选择不会烧焦的安装材料，并且设计的安装架要能耐受膨胀和收缩造成的应力。

⑾ 考虑临近的其它热源和本身的发热问题。

⑿ 热耗散 2 瓦以上的电阻器能够烧焦接线板。故应采用耐热性能良好的接线板。

⒀ 如果在地电位以上且高于电阻器所规定的电位的情况下并直接安装在底座的电阻器时，应当使用加强绝缘，然而，安装座仍必须能够耗散所产生的热量。

⒁ 电装技术会影响电阻器的可靠性。电阻器绝不能因过高的烙铁焊接热而受到过热，并且，电阻器引线不得被电装工具擦伤。正常的焊接应当使散热达到这样程度，即电阻器不受物理损伤或其阻值不得由于焊接操作而发生变化。

电阻器焊接后不能采用硅橡胶和环氧树脂等绝热物质对电阻体进行加固。更不允许将电阻体埋在这些绝热体内。尤其是对于精度要求高而功率又比较大的金属膜电阻更应如此，否则随着工作时间增长，电阻值会逐渐增大。

安装应避免电阻器表面出现不正常热点，例如：电阻器表面与绝热物相接触，就会出现这种情况。

2.3.2 薄膜电阻器的使用

在薄膜电阻器的应用中，通常应注意下列几个方面：

a. 有些功率比较低，容差比较严格的薄膜电阻器，如精密型薄膜电阻器，很容易受到静电的损坏。所以，在接触该种电阻器时，应采取防静电措施。

b. 当金属薄膜电阻器用于低占空因数脉冲电路时，峰值电压不得超过连续工作额定电压的 1.4 倍，峰值功率耗散在任何条件下都不得大于电阻器额定值的 4 倍。

c. 无论买来的电阻器容差是多少（通常为±2%或更小），设计时都应该允许电阻值有±5%的漂移。

d. 薄膜式电阻器在高于 100MHz 的频率下工作时会产生螺旋感应效应。

e. 碳膜电阻体容易受到物理损伤，因此最好使用密封薄膜电阻器。

f. 金属膜电阻器基本上不受潮湿的影响，但是，当电阻器的涂层刮伤或遭到破坏时，湿气就会进入涂层，进而对电阻器的特性产生影响。

2．3．3 线绕电阻器的使用

⑴ 一般应用中考虑的因素

a. 线绕电阻器具有感性和容性效应，并用通常不适用于 50kHz 以上的频率。由于集肤效应所致线绕电阻器的阻值通常会随频率的增高而增高。

b. 注意，电压超过额定值时，常常会导致绕组间的绝缘击穿。

c. 应避免使用抽头电阻器，因为抽头的插入会在机械上削弱电阻器，并且使有效功率额定值降低。

d. 湿气的存在会使这种电阻器所用的涂层或灌封化合物受损。

⑵ 不同线绕电阻器应用中其他的考虑因素

a. 功率型线绕电阻器　　功率型线绕固定电阻器通常用于要求功率耗散为 1～10W，并具有良好的持久稳定性场合。除了上面所述的通用考虑外，在功率型线绕电阻器的应用中，还应注意下述几个方面：

- 功率型电阻器在电路中与“地”之间有大于 250V 的高电压时，应考虑加强的绝缘措施，以防绝缘击穿。
- 尽管功率型线绕电阻器能可靠地耐受比稳定工作所允许的大得多的脉冲电压幅度，但应当注意，不要超过规定的最大电压极限。脉冲功率和平均功率不得超过按降额要求确定的降额值。

b. 精密型固定线绕电阻器

- 精密线绕电阻器与同等功率额定值的合成电阻器相比，外形大、而且昂贵，它们具有非常高的稳定性，极小的电压系数。
- 当所用的电阻器具有低值和 0.1%的误差或更小时，设计时必须考虑到引线和连接电阻器的其它金属线的阻值可能超过误差。
- 当高压（250V 或更高）出现在电阻器电路与安装电阻器的接地面之间，或者当阻值很高以致使对地的绝缘电阻成为重要因素时，需要考虑电阻器与其安装面之间，或在安装面与“地”之间提供加强的绝缘措施。
- 引腿镀锡到根部对可靠性的危害很大。因为这种电阻器是用很细的电阻丝绕制的，外表包有一层环氧树脂，这种结构在镀锡时，如果镀到根部，锡锅的热量通过引腿的传导，很容易将引腿根部的环氧包封材料烫伤收缩，引起粘附强度下降，因而容易造成引腿松动。如果引腿一但松动，会很容易将电阻端头的电阻丝拉断。
- 精密电阻在引腿的切断，整形过程中应注意保护引腿根部的包封树脂，以免脂碎裂脱落。如果发生树脂碎裂脱落，潮气容易从该处缝隙侵入，导致内部的电阻丝和焊点受到腐蚀。同时树脂碎裂脱落后使引腿机械强度下降，在使用中容易发生引腿松动并引起失效。

2.3.4 其它电阻器、电位器的应用考虑

可变线绕电阻器的温度系数最低，稳定性最高，但电噪声比其它可变电阻器高。电位器用在需要阻值可调节的电路中较方便，但可靠性较固定电阻器低。电阻网络使设备小型化，可靠性较高，稳定性好。本节概要讨论可变电阻器、电位器和电阻网络的应用可靠性考虑。

⑴ 可变电阻器

在高可靠性场合，最好不要使用可变电阻器。由于这种电阻器一般不是气密的，它们的性能会因在电装过程中吸入助焊剂、清洗溶剂和防护涂料而很容易发生退化。此外，可变电阻器含有活动零件，这些零件会由于使用而磨损。与固定电阻器相比，可变电阻器的可靠性比较低。在必须采用可变电阻器的情况下，应采取下列措施：

a. 应当采用封闭式电阻器，以便尽量防止灰尘和污垢进入，从而保护结构免遭机械损伤。润滑油的存在会导致灰尘或研磨颗粒集中在电阻器内。

b.应当避免接触刷在电阻体上进行不必要的移动。对不连续使用的电阻器，最好用端头有槽的、短的锁定轴。当连续使用时，大转矩轴可以限制由于冲击、振动和意外运动造成的移动量。在有必要使用长轴时，通过连轴节延伸比使用长的整体轴好。无论

使用哪种轴，使用特大型控制旋纽时由于产生大旋转力矩，往往会使整体制动机构遭到破坏。使用小尺寸的旋钮可以减小所加力矩。

c. 当把可变线性电阻器作为分压器时，如果电流从接触刷引出的话，通过接触刷的电压就不会成线性变化，这种特性通常叫做“负载误差”。为了减少负载误差，负载电阻应当至少是终端间电位计电阻的 10～100 倍。

d. 在当电位器用的场合，负载电流将会流过电阻器的一部分，并且会引起热效应。

e. 为了保证有更长的寿命，可变电阻器一般来说最好使用非固定式（或非锁定式）套管。

f. 在高湿度的环境中使用螺杆驱动线绕可变电阻器时，应当特别慎重，因为高湿度会导致匝间短路。在高湿度环境中，最好避免使用这种电阻器。

⑵ 电位器

电位器是可变电阻器的一种，它可分为线绕和非线绕两大类。线绕电位器按其结构和功率额定值，又可分为功率电位器和精密微调电位器，线绕电位器一般用于变阻器和分压器。非线绕电位器按其结构的不同又可分为：低精度合成电位器（实心或碳膜）、薄膜微调电位器、精密塑料薄膜电位器和精密金属膜微调电位器四类。下面概要叙述上述各类电位器的应用可靠性考虑。

a. 功率和普通型线绕电位器

- 功率电位器在与“地”间电位差大于 500V 的情况下使用时时应考虑加强绝缘措施（注意有些电位器与“地”间允许的最大电位差只有 250V）。
- 当要求功率电位器工作在大于 40V 的直流电路中时，应确定好电位器的断电位置（即应当慎重地规定断电位置）。

b. 精密微调线绕电位器

调线精密微绕电位器在与“地”间电位差大于 250V 的情况下使用时，应考虑加强的绝缘措施。

- 建议不要使用电阻合金线直径小于 0.025mm 的电位器。
- 精密微调电位器只有一部分工作时，其功率额定值必须作相应减小。

c. 低精度合成实心/碳膜电位器

- 在地面使用时（与“地”之间）的电位差不应大于 500V，否则应有加强绝缘措施。

- 这类电位器的热和机械噪声较大，但会随工作时间的延长而逐渐变小。

d. 金属膜和碳膜微调电位器

- 电位器的功率额定值仅适用于整个电位器均在电路中加载的情况，对部分电阻体在电路中加载的情况，额定功率值相应地降低。
- 电位器与“地”之间的电位差不应大于 250V，否则应有加强绝缘措施。
- 在电位器堆积使用时，其功率必须减小，以防电位器温度过高。

e. 精密塑料电位器

这类电位器的额定功率值考虑一定的工作温度如（70℃）和确定的散热面积，对于特定情况下的应用，必须考虑其安装技术。

- 因相邻器件和环境温度的增加而使电位器工作温度增加时，应考虑电位器的阻值温度特性。

⑶ 电阻器网络

a. 由于电阻单元与连接电路间的空间很小，因此应规定其最高工作电压值（即电压极限）。

b. 电阻网络有两个功率额定值：单个电阻单元和整个电阻器网络。最大额定功率及额定环境温度由技术条件确定。如环境温度超过组件的额定环境温度，必须对其实施降额。

c. 当电阻器网络在高频（高于 200MHz）电路中使用时，由于电阻体和连接电路之间分流的结果，其有效电阻将会降低。

d. 应该注意，有些膜式电阻器网络容易遭受静电损坏，故应采取防静电措施。

3. 电容器的选择与应用考虑

3.1 电容器的分类

电容器从功能上可分为固定电容器和可变电容器两大类。从结构和材料可分为空气介质电容器、无机介质电容器（瓷介电容器和云母电容器）、有机介质电容器（聚脂薄膜，聚苯乙烯薄膜，聚丙烯薄膜，金属化纸介）和电解介质电容器（铝电解，钽电解）四大类。

3.2 电容器的选择指南

3.2.1 各类电容器特点及应用范围

在选择电容器之前，必须了解各种电容器的特点及应用范围，见表 3.1 和表 3.2

表 3.1 各类电容器的主要特点

	绝缘电阻	电气强度	介质吸收	损耗	品质因数
空气电容器	很高	低	很小	很微小	很高
I 类陶瓷电容器	高	高	小	微小	高
II 类陶瓷电容器	高	高	小	微小	高
云母电容器	高	高	小	微小	高
薄膜电容器	高	高	小	微小	高
纸及金属化电容器	中	中	中	中	中
铝电解电容器	很低	低	大	大	低
钽电解电容器	低	很低	大	大	低

表 3.2 各类电容器的应用范围

电容器类型	应用范围								
	隔直流	脉冲	旁路	耦合	滤波	调谐	起动交流	温度补偿	贮能
空气微调电容器				○	○	○			
微调陶瓷电容器				○		○			
I 类陶瓷电容器				○		○		○	
II 类陶瓷电容器			○	○	○				
云母电容器			○	○		○			
薄膜电容器	○	○	○	○	○				
金属化纸介电容器	○		○	○	○		○		○
铝电解电容器	○		○	○	○				○
钽电解电容器	○		○	○	○				○

3.2.2 电容器选择的电学考虑

a. 标称容量及其允许偏差

根据电路对电容器电容量要求的精确程度来选择不同的偏差等级。

b. 额定电压

不同介质电容器的直流额定电压是不同的。考虑到降额以及在使用中可能遇到的瞬变电压的因素，必须选用额定电压足够高的电容器。为安全起见，额定电压值至少应大于实际工作电压的 20%，所施加的交流电压不应超过适用于该频率的和最大周围温度的交流电压额定值。

在选用高压电容器（1000V 以上）时必须特别小心，并且应考虑到电晕的影响。电晕除了可能损坏设备性能外，还会导致电容器介质损坏，最终导致击穿。电晕是由于在介质/电极层中存在空隙而发生的，因此，要考虑由于局部过热所引起的介质损坏。

c. 绝缘电阻

电容器用于大时间常数的定时，分压器网络和存储充电电荷等，应选用绝缘电阻很高的电容器。

金属化纸介电容器的绝缘电阻小，容易发生介质击穿。

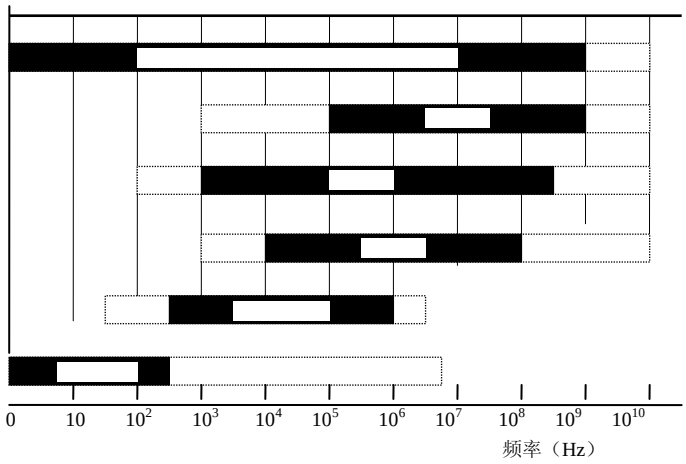
绝缘电阻随温度的升高而降低。

d. 频率特性

所有的电容器都有工作频率范围的限制，在选择电容器时应注意电容器的谐振频率。当工作频率超过谐振频率时，电容器会被击穿。

很多种类的电容器都有很大的电感。在实际应用中，它们常被小容量的电容器分流。如果能保证最大的分流效应，最好是将大容量的电容器与小容量的电容器并连使用。

各种电容器的工作频率范围：



注：实线表示标准设计；虚线表示依靠专门的工艺或设计可能实现的扩展范围

e. 温度影响

电容器的使用寿命、绝缘电阻和介质强度（击穿电压应力水平）随温度升高而降低；

电容量根据不同的介质和结构随温度变化而上、下变化；过高的温度会使气密密封破坏而导致浸渍剂泄露，会导致绝缘电阻和抗电强度降低，电晕的电压下降，容量飘移，寿命减少，失效率增加。一般而言，以极性介质制造的电容器具有较高的功率因数，因而易产生内部发热，加速电容器的损坏。

f. 湿度

电容器吸潮气引起参数变化，引起过早失效，影响最严重的参数是绝缘电阻的降低。

对于薄膜介质电容器、薄膜通常不吸收潮气，但潮气会循环地进入电容器，或者停留在薄膜表面附近的空气隙中。当潮气进入电容器时，就会引起电容器绝缘电阻的下降和电容量的变化。

纸介质电容器比薄膜介质电容器更容易受潮。

在湿度较大的场合应使用密封型电容器。

c. 振动和冲击

如果所选用的电容器不能承受运输途中和现场使用中的振动和冲击，就可能遭到机械操作或破坏，或引起故障。封装外壳内部组件的移动可以引起电容量的变化、介质或绝缘失效。此外，还可能引起引线的疲劳失效导致断裂。

3.3 电容器应用指南

在电容器的应用中，应严格遵守降额使用的有关规定。详见《元器件降额准则》。

3.3.1 陶瓷电容器（包括独石电容）

a I 类陶瓷电容器（CC 系列）具有小的温度系数和电压系数，并具有很好的频率特性，即电容量随温度、外加电压、电流频率的变化而变化很小，适用于要求电容量稳定、或要求补偿其他电路元件的温度变化特性的场合。当进行温度补偿时，其温度/时间曲线应当与被补偿的绕阻或元件的温度一时间曲线正好相反。

b II 类陶瓷电容器（CT 系列）不适用于精密用途，只适用于在允许电容量有一定的误差变化的电路中作旁路、滤波和非关键性的耦合元件。

c 陶瓷电容器耐热性能较差，焊接或烫锡不当，过高的温度可能损伤密封或使电极与引出线的连接变差，温度突变可能造成密封或介质破损。

d 银电极电容器不应在潮湿环境下贮存，防止外壳吸潮，并使银离子迁移，引起电容器短路。

e 钛酸钡的陶瓷电容器具有压电效应，当受到振动或冲击的作用会在两电极间引起瞬间电压，它对精密电路的工作会产生不利影响。

f　　独石电容器的电极材料有银和钯银和金两种，银电极独石电容器的可靠性比钯银电极独石电容器的可靠性要差的多，它不宜用于军用产品中。

3.3.2 云母和玻璃电容器

a. 云母和玻璃电容器具有高绝缘电阻、低电感和优良的稳定性，适用于要求电容量较小，Q 值高以及对温度、频率和老化稳定性好的场合，可用作高频耦合和旁路，或者调谐电路中作固定电容器元件。

从电性能的观点来看，云母和玻璃型式本质上是可互换的，但后者易破裂，故首先应考虑选用云母电容器。

b. 云母介质电容器在 500MHz 频率范围内性能良好。

c. 当云母电容器在交流条件下工作时，峰值交流电压与直流偏压之和不应超过根据降额准则确定的降额值。在遇到瞬变现象的地方，还应考虑这些瞬变过程的影响。

d. 在长期使用过程中，为避免产生银离子迁移，镀银云母电容器决不能受到直流电压与高温和高湿的组合应力。

e. 在云母电容器的使用中，通过电容器的电流应不超过下式的计算值：

$$I = K / 4\sqrt{f}$$

式中：I——电流（A） f——频率（Hz）；K——系数，通常 K=2。

f. 电容器在脉冲电路中工作时，最大脉冲电压不应超过额定直流工作电压。

g. 在玻璃电容器的使用中，直流电压与交流峰值电压之和不得超过电容器的直流额定值。

h. 云母电容器能够在交流条件下工作，但损耗因数一般比较大，而且必须考虑到在较低的交流电压下电晕发生的可能性。在确定设计前，必须评审云母电容器潜在的交流应用能力。由于可能存在的微小的空气间隙，云母电容器在高的交流电压下对电晕比较敏感。

I. 由于这些电容器经常用在与高频特性有关的电路设计中，因此，下列参数的变化是值得考虑的；

- 电容量随频率的变化；
- 自谐振频率；
- 品质因数（Q 值）与频率的关系；
- 射频电流能力。

云母电容器的电容量从低音频到射频的频率范围内都非常稳定。在甚高频范围（30MHz 以上）有逐渐增大的趋势，并且当频率更进一步提高时，可以表现在比在 1MHz 下测量的值高 10%的变化。当电容量增加时，这种电容量随频率的变化会变得更加明显。

电容器的工作频率上限一般是由它的固有谐振频率来确定。对云母和玻璃电容器，引线长度是影响固有谐振频率的重要因素。对某一给定的外壳尺寸，引线与内引出端的电感近似于常数，因此，谐振频率几乎与电容量的平方根成反比。

3.3.3 有机薄膜/金属化纸介电容器

a. 有机薄膜电容器的绝缘电阻和介质强度高，比率体积小，在宽的温度范围内具有良好的电容稳定性。可用于耦合、旁路、滤波、定时、噪声抑制、隔直流等场合。

b. 金属化纸介电容器的绝缘电阻比有机薄膜的为低，故介质击穿是主要的失效模式。

c. 金属化电容器（金属化纸介，金属化聚碳酸脂薄膜）具有自愈性能，这虽是优点，但自愈会明显增加背景噪声，且自愈时会产生 0.5~2V 电压的迅速波动，故不宜在脉冲和触发电路中使用。

d. 当要求在交流情况下工作时，需设法保证：(a)直流电压与峰值交流电压之和不超过直流电压额定值；(b)交流电压应不超过直流电压额定值 20%。

e. 在干扰源周围的任何抑制系统中，旁路电容器的理想的位置是底座或屏蔽外罩导线的引出端点。

f. 在应用中，最佳旁路电容量的确定通常需要折中考虑，最现实的能达到抑制干扰目的电容量为 0.01~2.0μF。

g. 对大多数应用说，如果不存在交流电压，电容器的损耗因数是不必加特别考虑的。在存在交流的情况下，由于交流的作用，在电容器内部产生的温升是该频率（或工作频率）下有效损耗因数直接函数。由于介质加速劣化，它可能使内部温升变得很高，进而导致器件的早期失效。

h. 如同损耗因数一样，电容器的绝缘电阻通常很高，因此，设计人员不必过多加以考虑。但是，在某些情况下，例如大时间常数的积分网络、贮存充电电荷电容器（halding capacitor）或电容分压器网络，此时旁路泄漏通路对电路的工作变得很重要，尤其当考虑到绝缘电阻随温度升高而降低的情况下更是如此。在这种情况下，如何选择介质系统可能就应由其绝缘电阻的特性来确定。

I. 瞬时开关或由电路中不正常的功能产生的浪涌电压也可能导致介质击穿。瞬态现象必须特别加以考虑，因为器件可以承受几次瞬态过程电压而不损坏，但重复的过应力最终将导致器件早期击穿。

3.3.4 电解电容器

a. 铝电解电容器的特点是电容量大（1μF~65000μF），单位电容量的体积小，价格低，但温度系数大，可工作在 10KHz 以下，用于电源滤波、旁路、耦合、隔直流和贮能等场合。钽电解电容器的电容量小于铝电解电容器（1μF~500μF），单位电容量的体积最小，上下限温度范围宽、性能稳定，同样用于滤波、旁路、耦合、隔直流和贮能等场合。

b. 钽电解液具有良好的贮存寿命特性；然而，由于铝电解电容器铝膜会在电解液中溶解，所以铝电解电容器的贮存寿命有限。

c. 对于给定的电容器额定电压，应当尽可能采用大的外壳尺寸，因为这将有助于实现较厚的氧化物介质、较小的等效串联电阻、较小的耗散因数、较好的散热条件和较高的电容稳定性。由于湿气透入会使电解液受到影响，因而应尽可能采用密封的电容器。

d. 钽电解电容器并联使用时，每个电容器应串联限流电阻器；当电容器串联使用时，应使用平衡电阻器来确保电压的适当分配。

e. 钽电解电容器在高阻电路中瞬时击穿可以自愈，为此，使用时回路中应串联电阻器，阻值以 3Ω/V 为佳。

c. 铝电解电容器不宜在低温环境下使用。

3．3．5 固体钽电容器

固体钽电容器具有高的体积比电容率，对温度和时间呈现良好的稳定性，在军用场合使用最为广泛，但使用中比须重视以下问题：

（1）固体钽电容器有“自愈”效应，在高阻电路中暂时的击穿可以自愈。所以充电回路应设计具有 3Ω/V 的保护电阻。

（2）在任何情况下电容器两端都不能出现反向电压，即使是瞬时的反下冲电压，也不许。

（3）为了确保较高的可靠性，通过电容器的脉动电流应降额至制造厂推荐的降额值 70%。

（4）包括电容的内部温升，壳温应限制在 50℃以下。

（5）这种电容器具有介质吸收特性，将它的两个电极短路后电容器上仍然会有残留电压存在。因此固体钽电容器用在阻容定时电路，触发系统和移相网络中时应考虑到这一影响。

4. 继电器的选择与应用考虑

4.1 继电器的选择

4.2 继电器的应用考虑

继电器是机电式元件，它容易遭受电气和机械方面的双重影响，使用不当会导致可靠性降低，误用是导致继电器失效的重要原因。继电器在使用过程应注意以下问题：

（1） 触点的并联只能作为提供余度用，不能作为增大额定电流的方法。因为若干触点不会同时接通和关断，最坏的情况将是一个触点承受所有负载。

（2） 继电器用于转换感性、容性或灯泡负载时，设计人员应考虑到瞬态电流对触点的影响。因为在转换的接通或断开瞬间会产生大约 10 倍于稳态电流的浪涌电流。因此在电路设计时应适当增加限流电阻来减小这种浪涌电流。

（3） 在继电器线圈两端并联开关特性良好的续流二极管可以抑制线圈产生的瞬电压,从而保护驱动继电器线圈的半导体器件。但并联二极管后，会导致触点动作变慢，触点释放时间延长，因而在触点间容易产生电弧和增长放电时间，从而减小了可以转换的电流总量，并缩短了继电器触点的寿命。因此，在不要求抑制继电器线圈瞬态电压的场合，最好不要采用续流二极管。

（4） 绝不能为了〝增大电流额定值〞而使触点串联工作。

（5） 继电器不能降低线圈的额定工作电压。因为使用低于额定值的线圈激励电压会严重危害继电器的工作寿命（降低电压后会使触点动作时间和飞弧时间大大增加）。如果用于振动环境，加速度力作用到触点上，还容易引起触点抖动。

（6） 在高温下使用继电器应适当提高线圈额定电压。因为温度升高将使线圈电阻增大（大约以 0.004Ω/℃的速率上升），工作电流下降，使继电器工作不正常。生产厂提供的额定电压是室温下的电压值。

（7） 用外壳不接地的继电器转换高压有可能引起人身危险。但外壳接地后，触点的电流和电压额定值的降额应当比外壳不接地时要更多。因为有些继电器内部的间隙很小，或者缺少电弧阻挡层，容易产生内部放电。

（8） 继电器触点上的电压应低于规定的额定电压。

（9） 继电器不能先在高电平负载下短期工作，然后再用到低电平负载的电路中长期使用。

（10） 如果继电器的负载是电机并且需要反向制动时，会导致电流和电压大大超过额定值。

（11） 继电器用于小电流负载时，应考虑最小电流容量（沾污试验电流）。否则容易出现触点接触不良。因此触点的电流/电压不能过度降额，降额太多就会没有足够电流/电压来穿透触点上的氧化层。

（12） 当继电器线圈由缓慢增大的电流控制时，应注意以下特殊问题：在激励电流逐渐增大的过程中，当衔铁开始动作并接近极面时，就会产生一个反电动势，它将衔铁向外推，使触点释放，只有激励电流继续增大到足以克服这个反电动势时触点才能闭合。

（13） 通常继电器不能应用于紧急状态下的通电闭合，而只能使继电器断电释放。

（14） 继电器触点在吸合或释放瞬间所产生的电弧会引起金属迁移和氧化，使触点表面变的十分粗糙，进而出现接触不良或释放不开的问题。因此使用中可在触点间增加消火花电路，以便保护触点，延长使用寿命。

5. 开关的选择与应用考虑

5.1 开关选择

5.2 开关的应用考虑

6. 电连接器的选择与应用考虑

6.1 电连接器的选择

6.2 电连接器的应用考虑

6.3 电连接器的主要失效模式

7.电缆的选择与应用考虑

7.1 电缆的选择

7.2　电缆的应用考虑

8. 磁性元件的选择与应用考虑

8.1 磁性元件的分类

8.2 磁性元件的选择

8.3 磁性元件的应用

9. 二极管的选择与应用考虑

9.1 二极管的分类及一般选择要求

按二极管的功能可分为：开关、整流、稳压、电压基准、稳流、变容、瞬变电压抑制、光电和微波等类别。

根据二极管额定正向电流 I_F 的大小，可分为功率二极管和小功率二极管。一般 I_F 不小于 1A 的为功率二极管。

根据二极管额定工作频率的高低可分为低频、高频和微波三类。

在选择二极管时，一般可按下表进行选择：

工作性质	应用要求	类　　型
开关		开关二极管、整流二极管、稳压二极管或萧特基二极管
钳位		
消反电势		
检波		
整流	3KHz 以下	整流二极管
	3KHz~1MHz	快恢复整流二极管、开关二极管或萧特基二极管
稳压	1V 以上	稳压二极管
	1V 以下	正向偏置的开关二极管、整流二极管
电压基准		电压基准管、稳压管
稳流		稳流二极管
参数放大压控振荡		变容二极管
脉冲电压保护		瞬变电压抑制二极管
信号显示		发光二极管
光电转换		光敏二极管
光电探测		光电池（光伏探测器）
微波混频检波		萧特基势垒二极管
微波倍频		阶跃恢复二极管
微波移相限幅		PIN 二极管
微波小功率振荡		耿氏二极管
微波功率振荡		雪崩二极管

9.2 各种二极管的应用考虑

9.2.1 开关二极管：应注意额定耗散功率，开关速度和最高工作结温的限制。

对于瞬态脉冲电压或浪涌电流也应避免超过器件降额后的限定值。否则也将使器件受到损伤和缩短器件的正常寿命。

9.2.2 整流二极管：

a． 功率整流二极管：反向电压 V_R 范围为 50～1000V，正向电流 I_F 不小于 1A。由于功耗大，应选用内热阻小的管子。必要时，应采取散热措施。

b． 高压整流二极管：允许反向电压 V_R 在 1000V 以上。

ｃ． 高频整流二极管：具有较快的反向恢复时间（ｔｒｒ），一般要求ｔｒｒ≤２００ｎｓ。

9.2.3 稳压二极管： 耗散功率一般在 0.2～1W 之间，稳压范围在 1～40V 之间。稳压二极管的输出电压对温度敏感，温度系数为 0.7ｍＶ／℃。

9.2.4 电压基准二极管： 其动态电阻较大，加在电压基准二极管的电流 I_Z 应在规定的范围内，且应保持基本恒定。

电压基准二极管主要用作电压基准，一般不能带较大负载。

电压基准二极管的电流（I_Z）应采用推荐值，不可降额。降额的只是结温。

9.2.5 稳流二极管：稳流二极管主要用作恒流源。它与精密电阻器或稳压二极管串联，电阻器或稳压二极管上的电压即为精密基准电压。

9.2.6 变容二极管：频率范围和温度范围都很宽，主要用于噪声很低的参量放大器。也可用于压控振荡器、倍频器和电调谐器中的可变电抗器件。

9.2.7 瞬变电压抑制二极管：在反向应用条件下，当承受一个高能量的瞬时脉冲时，其工作阻抗立即以很快的速度由高变低，降至很低的导通值，允许大电流通过，同时把电压箝制到预定的水平，有效地保护了与之并联的电子线路中的元器件，不因瞬时过载而被损坏。瞬变电压抑制二极管有单向和双向两种。

在选用瞬变电压抑制二极管时必须遵循以下原则：

ａ．瞬变电压抑制二极管的箝位电压 V_C 应不高于被保护线路或元件的最大允许安全电压；

ｂ．瞬变电压抑制二极管的最大反向工作电压 V_{RWM} 应不低于被保护线路或元件的正常工作电压；

ｃ． 瞬变电压抑制二极管额定的瞬态脉冲功率 P_P 必须大于被保护被保护线路或元件可能出现的最大瞬态浪涌电压。

9.2.8 光电二极管:

光电二极管分为三类：发光二极管、光敏二极管和光电池。

在光电二极管的应用中，除应按照有关说明应用外，还应注意光敏二极管电压、电流的降额因子与发光二极管相同，但所加的偏置电压不得低于规定值，过度的降额将使光电流与入射光强度的线性关系变坏。

9.2.9 微波二极管

微波频率范围一般指 1～100KMHz 或更高。按工作原理分有以下几种：萧特基二极管、阶跃恢复二极管、PIN 二极管、体效应二极管、雪崩二极管等。

a. 萧特基势垒二极管：具有很小的结电容，电压电流为非线性关系；截止频率高、电流灵敏度高、噪声低、功率损耗小。

- 萧特基势垒二极管为静电敏感器件，要采取防静电措施。
- 当对器件抗烧毁能力有较高要求时，应采用标称工作频率与使用频率相吻合的器件。

b. 阶跃恢复二极管（SRD）：SRD 能实现多种频率的倍频特性。当正弦波或恒定的偏置电流使 SRD 正偏时，SRD 就存储电荷；当反偏时，SRD 就断开。这种器件随着存储在结附近的少数载流子的耗尽而产生一个突变的阶跃电流，使器件发生高次谐波，故倍频效率高。

- SRD 要在允许的功率范围内使用，严禁有连续的和短暂的过高功率在管子上消耗。

c. PIN 二极管：有很高的击穿电压，在零偏或反向偏压下，它的阻抗很高；在正向偏压下，它的阻抗很低，并随正向偏压而连续变化。

- 当有一连续波信号通过 PIN 管时，该管所能承受的最大信号要根据使用频率下的损耗而定。由于损耗，必然引起结温增高，当超过一定限度时引起器件烧毁。此外，信号源的电压振幅不能超过器件反向击穿电压，否则也会造成损坏。
- 在脉冲应用时，所承受的脉冲功率容量可以增大，增大的倍数与占空比有关，但管子截止时的反向电压仍然不能大于击穿电压。
- 电控衰减使用时，使用频率一定要大于其介质的弛豫频率，才能起到电导调制作用。

d. 耿氏二极管：同普通的 PN 结有很大的不同，在体效应器件中没有独立的结区，半导体材料通常为 GaAs。当器件在直流偏置时产生一个电荷区，该电荷区在外加电场的作用下，从阴极向阳极移动，最后被阳极吸收。这种过程不断重复，形成周期性电流脉冲。该脉冲可为本振和放大器提供微波功率。这种器件的特点是噪声系数低，偏置电压小等。

- 体效应管绝大部分输入功率（约 94%～99%）转变为热能散出，因此必须有良好散热。
- 若电源滤波不好，电压不稳，开机时会出现脉冲或寄生振荡等现象，易烧毁管子。

d. 雪崩二极管：利用 PN 结的雪崩效应，产生功率较大的微波振荡，且在微波频率下具有负阻特性。

- 雪崩二极管工作于负偏压雪崩状态。为避免烧毁，必须对回路电流限流，常采用直流恒流源。
- 电源在接通和断开时不能出现过电脉冲，否则易损坏管子。
- 为减少电源对振荡器噪声影响，电源电压纹波系数应尽量小（如小于 0.1mV）。
- 应注意器件散热，尤其对于功率较大时更需注意。

10. 晶体管的选择与应用

10.1 晶体管的一般选择

晶体管是一种具有放大和开关等功能的有源器件。按工艺可分为：双极、场效应、闸流和光电等。按功能可分为放大、开关、鏊波和光电等。按工作频率可分为：低频、高频和微波三类。

10.2 各种晶体管选择要求和应用考虑

10．2．1　选择：

一般可按工作性质按下表选择晶体管：

工作性质	应用要求	类　　型
小功率放大	低输入阻抗（小于 1MΩ）	高频晶体管
	高输入阻抗（大于 1MΩ）	场效应晶体管
	低频低噪声	场效应晶体管
	微波低噪声	微波低噪声管
功率放大	1GHz 以上	微波功率管
	10K Hz 以上	高频功率放大
	10K Hz 以下	低频功率放大
开关	通态电阻小	开关晶体管
	通态内部等效电压为零	场效应晶体管
	功率、低频（5KHz 以下）	低频功率晶体管
	大电流或作可调压电源	闸流晶体管
光电转换、放大	－－－	光电晶体管
光电隔离	浮　地	光电耦合器

10．2．2　应用注意事项

（1）小功率晶体管：

在小功率晶体管的应用中，对极限参数必须降额使用。极限参数包括：集电极最大允许功率耗散（P_{CM}）、集电极最大电流（I_{CM}）、基极电流为零时集电极－发射极击穿电压（$V_{BR(CEO)}$）。

（2）功率晶体管：由于功率晶体管在大功率工作时，散发出比小功率晶体管高的多的热量，因此，对功率晶体管需要特别注意二次击穿和安全工作区的问题。

a．选择安全工作区宽的管子

b．合理选择管芯的结构类型：管芯的结构类型不同，电参数不同。

c．注意安全工作区与管子的使用关系：使用温度越高，安全工作区越小。

d．安全工作区的大小与管子的工作状态有关：脉冲安全工作区总是比直流安全工作区要大，并且脉冲越窄或占空比越大则脉冲安全工作区越宽。

（3）场效应晶体管：

a．由于场效应晶体管是静电敏感器件，因此，要特别注意防静电。

b．在 VMOS 管的应用中，要注意以下几点

- 防止电浪涌损伤
- 防止寄生振荡：在栅极上串联一个 100Ω～1K 的电阻；避免输出至输入的线间耦合。
- 防止 dv/dt 损伤：当 dv/dt 较大时，可能会导致 VMOS 管内部的寄生双极晶体管发生导通，使器件受损。因此在使用 VMOS 管时应了解 dv/dt 的最大允许值（一般为 10～50V/μS），使用时应降低栅极驱动电路的阻抗，或在栅源

之间跨接阻尼电阻或齐纳二极管，它们有利于防止 dv/dt 引起的损伤。

ｃ．在微波 GaAs 场效应功率管的应用中应注意以下问题:

- 采用定序偏置：由于偏置电压施加不当，是在操作过程中造成微波 GaAs 场效应功率管烧毁的主要原因之一。施加偏置电压时应先加栅压，后加漏压；相反在断开偏置时，则应先去除漏压，后降低栅压。而且，所加偏置电压最好是渐变的。
- 输出失配及保护：微波功率放大器或振荡器的输出端如果与负载匹配良好，则输出的微波功率全部由负载吸收。但是，如果由于某种原因造成输出失配时，将会使微波功率管的负载大大增加。一方面是由于电感性负载的影响，会使加在功率管输出端的瞬时射频电压，远远超过其最大额定值；另一方面，输出失配会造成信号的强烈反射，反射回来的能量由微波功率管承担，

这样就可能导致功率管发生热电击穿或烧毁。功率管输出失配的大小由负载驻波比来衡量，负载驻波比越大，表示失配越严重。

- 输入过驱动保护：防止过激励驱动导致的输出功率管受损。

（4）硅可控整流器（SCR）的使用问题

ａ．阳极电流增大率（dI/dt）：阳极电流增大的最大速率是器件制造厂对可控整流器规定的一条限制。限制阳极电流的增长速率可以防止在控制极附近出现的过热现象。

ｂ．正向电压上升率（dV/dt）：SCR 从导通转向关断时，重要的是确定 SCR 对 dV/dt 承受能力的特性，它是 SCR 关闭特性的重要组成部分，这一特性包括以下两个方面内容：

1〕 由阳极电源的电压跳动引起初始的电路激发，此时在电源电压上叠加了快速的上升时间瞬变。这种瞬变可能是由电路中开关器件的工作引起或者是由调节电路中其它 SCR 的工作状态引起。

2〕 正向阻断电压允许的最高重复速率：因为高的正向电压上升率（dV/dt）可使 SCR 转入“开态”或低电阻的正向导通状态。为了保证电路的可靠性，重要的是要确定器件对 dV/dt 的承受能力。

3〕 电瞬变对控制极的损伤：SCR 虽然是功率器件，但它的控制极却很薄弱，容易受到电瞬变的损伤。因此电路设计时应增加电瞬变保护电路。

11. 微电路的选择与应用考虑

11.1 微电路选择的一般要求

微电路是指具有高密度系数电路元件和部件，并可作为独立的微电子器件，也可以说是一种高密度等效电路的单元。微电路从工艺结构角度出发分为：单片微电路、混合微电路、薄膜/厚膜微电路及微电路模块。按制造技术分为：双极型技术和 MOS 技术系列。按功能分可分成数字、模拟、接口及微型计算机与存储器等类别。

11.1.1 微电路选择的一般要求

基本原则是，要特别注意选用成熟的、经过使用考验的元器件，控制新品种元器件的使用范围。在元器件的选用时应注意以下几点：

1. 质量等级

工作失效率和质量系数成正比。质量等级越高，则质量系数值越低，即失效率越低，电路越可靠。

2. 封装

微电路的封装形式多种多样，一般分为金属封装、陶瓷双列直插、陶瓷扁平、陶瓷无引出线芯片载体封装、塑料双列直插封装和 QFP 封装等。

- 金属封装的散热性好，成本较高。
- 双列直插式封装适用性强，体积较大，教重。
- 扁平封装具有很高的封装密度，但散热性较差。
- 无引出线芯片载体封装和 QFP 封装类似于扁平封装。

3. 引出端涂覆工艺：单片微电路引出端涂覆工艺主要有镀金和镀锡两种。镀金的优点是不易氧化，但成本高，工艺控制要求严。镀锡的优点是成本较低，但较易氧化。
4. 辐射强度保证等级：辐射主要指空间天然粒子辐射和核辐射。
5. 内热阻：热阻由热内阻、接触热阻和外热阻三部分相加而成，内热阻主要由电路结构、材料等组成。内热阻是影响微电路可靠性的重要参数，热阻大，结温高，电路寿命会下降，这点对功耗大的微电路尤为重要。
7. 抗瞬态过载能力：不同的微电路有着不同的抗瞬态过载能力。
8. 抗锁定能力：微电路选择时，应选最小注入电流及最小过电压满足要求的电路。
9. 抗静电能力：同种电路牌号不同的厂家有不同的抗静电能力，选择时应注意。

11.2 微电路应用的一般考虑

1. 降额：执行企标《元器件降额准则》
2. 容差设计：使用微电路时，应对微电路的电参数变化范围（如：制造容差、温度漂移、时间漂移等）有详细了解，在此基础上做容差分析。
3. 热设计：微电路的温度上升 10℃～20℃，失效率提高 1 倍，应用时，应严格控制微电路的结温，对于高可靠设备，结温不超过 100℃。
4. 防静电设计：见第十三章。
5. 防寄生耦合：寄生耦合可能导致数字电路误动作和模拟电路的自激。
6. 防干扰：干扰可导致出现误码，模拟量误差增大、信噪比降低，应用微电路应考虑微电路自身的噪声及应用环境中的电磁干扰，进行电磁兼容性设计。

7. 防电过应力损伤

（1） 电浪涌损伤：它是一种随机的短时间的电压或电流冲击造成的微电路损伤。电浪涌虽然平均功率很小，但瞬时功率很大，且是随机的，所以对微电路带来的危害特别大。常见的电浪涌来源有：

a. 交流 220V 电压突变。

b. 核爆炸瞬间在空间产生的核电磁脉冲是一次很强的电浪涌。

c. 某些电子检测仪器在某种特殊情况下会从检测端输出电浪涌。

d. 电感负载的反电动势。

（2） 操作失误造成的电损伤：

a. 双列直插式封装的微电路插反。

b. 电路调试时，不慎出现管脚短路。

c. 在电子设备中设置的检测点位置不当又无保护电路时，维修时就可能将不正常的电压引入该端而损伤器件。

（3） 印制板上的多余金属物引起短路。

（4） 电烙铁或仪器设备漏电引起的电损伤。

8．防机械过应力损伤

1) 引线成形和切断应注意的事项

（1） 弯引线时，为防止将过大应力加在管座和引线之间，应将弯曲点和管座间的引线用工具加以固定，弯曲时应防止工具碰到管座，更不能用手拿着管座来弯折引线。如果引线成形采用夹具进行大批生产时，必须使用专门的固定引线的夹具，而且要防止固定引线的夹具将应力加到器件上。

（2） 不要对引线进行反复弯折。

（3） 应避免对扁平形状的引线进行横向弯折。

（4） 沿引线“轴向”施加过大应力（拉力）时，会导致器件密封性遭到损坏。

（5） 应避免弯折夹具损伤引线镀层。

2) 在印制电路板上安装半导体器件应注意的问题

（1） 印制电路板上器件的安装孔间隔要与引线间隔一致；插上器件后不要在引线上施加过大应力；插好后不应有过大应力出现。

（2） 器件往印制电路板上插入时，不要随便拉引线，同时还应防止在引线和管壳间施加过大应力。

（3） 半导体器件与印制电路板之间应留出适当的间隙，使用衬垫加固机械强度是

一种好方法。

（4） 印制电路板固定后，装配时应避免将应力加在引线和器件管体之间。

（5） 在安装过程中，对引线操作不当就有可能破坏封装的气密性，使潮气得以侵入，引起集成电路失效。

对于硬引线（针状引线）封装的混合电路，安装时应尽量避免弯折或紧夹针状引线，因为弯折针状引线时在针－壳封装接入点相当于一根破坏性的杠杆，它在根部产生的过大应力会破坏管壳的气密性。

对于扁平形状引线（例如扁平封装或单边引线封装），只能借助钳子或特殊成形工具作垂直引线平面的弯折。引线弯折点与电路的封装体之间应留 3 毫米距离，并且弯折的曲率半径不得小于 1.5 毫米。特别重要的是，对扁平引线应避免反复弯折。

对于柔软的引线，几乎可以弯成任意形状以满足特定的安装要求。但要注意，引线一般不适于反复作 90° 的弯折，特别是在引线穿入外壳的“根部”，外壳穿过点边缘处的绝缘材料比较锋利，它可能在引线根部的弯折处形成一个很小的半圆形刻痕，可能最后导致在该处出现金属疲劳或引线断裂。

11.3 数字微电路选择的一般要求

11.3.1 数字电路选择

目前较常用的数字电路有 TTL 系列(包括 LSTTL 等)、CMOS 系列和 ECL 系列。

由于 ECL 系列虽然速度极高，但由于功耗很大和抗干扰能力极低，也较少使用。

因此，最常用的数字电路有 TTL 系列(包括 LSTTL 等)和 CMOS 系列。在选择数字电路时，有如下考虑：

- 速度考虑：

  （1）工作频率低于 5MHz 时，优先选择 CMOS4000B 系列。

  （2）工作频率在 5~20MHz 时，可选择 54/74 HC/HCT 系列。

  （3）工作频率高于 20MHz 时，可选择 54/74 AC/ACT 系列。

  在具体选择时，所选择器件的最高工作频率，应 2~3 倍于应用部位的最高工作频率。

- 功耗考虑：CMOS 电路的功耗远低于 TTL 电路。
- 驱动能力考虑：作为电子设备输出接口的应用部位（它们多与较长的信号线相连），应选择输出驱动能力足够强的类型和品种，例如缓冲器或线驱动器；

- 抗干扰能力考虑：作为电子设备输入接口的应用部位（它们多与较长的信号线相连），应选择抗干扰能力足够强的类型和品种，例如施密特触发器或线接收器；

11.4 数字微电路的应用考虑

11.4.1 CMOS 电路应用考虑

CMOS 电路由于其内部结构特点在使用要特别注意发生可控硅效应、电路震荡引起功率过荷以及防静电。

1．可控硅效应：

CMOS 电路的静态功耗极小，但可控硅效应被触发后功耗会变的很大（50~200 毫安），并导致电路发生烧毁失效。CMOS 电路的硅芯片内部，在 VDD 与 VSS 之间有大量寄生可控硅存在，并且所有输出端和输入端都是它的触发端，在正常条件下工作，由于输入和输出电压满足下式轧要求：

VDD>VOUT>VSS　　VDD>VIN>VSS

所以正常工作条件下 CMOS 电路不会发生可控硅效应。但在某些特殊情况下，上述条件就会不满足，凡是出现以下情况之一，可控硅效应（闩锁）就可能发生，发生闩锁的 CMOS 电路如果无限流保护就会被烧毁。

（1）两台电子设备连接时，处于接口部位的 CMOS 电路容易发生闩锁。因为两台设备不是使用同一直流电源，由于电源电压的差别会引起接受端的 CMOS 电路发生闩琐。即使用同一直流电源，两台设备的电源由于开关时间的不同步也会引起接收端 CMOS 电路发生闩琐。

（2）CMOS 电路进行高温老化时，信号源和老化板之间的连接与上述情况完全相同，也同样会发生闩琐。

上述两种情况的改进措施如下：

在两台设备的信号连线上串入一只限流电阻，电阻值的选择取决与电源电压

R≈VDD （KΩ）

（3）当 CMOS 电路的输出端有大电容负载时，容易引起闩琐。由于关断电源或者电源电压下跌都有可能使得大电容上的电压大于 VDD，即 VOUT>VDD，并且大电容的充放电电流较大，也可能触发闩琐。

预防闩琐的措施是在大电容器上串进数 KΩ限流保护电阻。

（4）CMOS 电路的输入端连接长线或长电揽时容易发生闩琐。因为电缆和长线的电感和分布电容容易引起 LC 振荡，振荡时会出现瞬间 VIN>VDD 的情况。

改进措施是在输入端串接限流电阻，将电流限制在 1MA 以下。

（5）CMOS 电路使用高阻电源时容易发生闩锁。虽然 CMOS 电路的功耗很小，但仍然要求电源的动态电阻小，否则电路在开关瞬间，瞬态电流在电源内阻上产生的压降，会使电源中产生负毛刺，也就是说会发生 VOUT>VDD 或 VIN>VDD 的意外情况。

改进措施：在 VDD 与地之间并联两只电容器，1 只为 10~50μF 电解电容器，另 1 只只是 0.01μF 的高频电容器。

（5）CMOS 电路的地线电阻较大时容易发生闩锁。

此时相当于在 CMOS 电路的 VSS 端与地之间串入一个电阻。功耗电流流经该电阻时产生的压降将使 CMOS 电路 VSS 端的电压抬高，当输入是低电平时，就可能出现 VIN<VSS 的以外情况。

改进措施：在布线设计时，想法尽量减小地线电阻。

（6）抗闩锁性能差的 CMOS 电路容易发生闩锁，不同厂家，不同工艺，不同品种的 CMOS 电路，抗闩锁性能有较大差异。在选择与采购电路时，首先应选择抗闩锁性能较好的 CMOS 电路。

2　CMOS 电路振荡引起功率过荷

（1）　当 CMOS 电路的任何一个输入端发生浮空时，CMOS 电路都会发生自激振荡。

（2）　CMOS 电路输入缓慢变化的脉冲时容易引起振荡。输入缓慢变化的脉冲使输入端处于 VDD/2 的时间增长，导致输出端出现不稳定的时间增长，

（3）　容易诱发 CMOS 电路发生振荡。振荡后电路功耗增大（高达 200MA），发生电过应力损伤。

（4）　防止振荡的方法有：

a.　在任何意外情况下都不允许 CMOS 电路的任何一个输入端出现浮空状 态；

b.　输入脉冲的上升和下降时间应有要求，普通 CMOS 电路上升时间应小于 10μs。

3.　由于 CMOS 电路的输入阻抗极高（>10e9），因此应特别注意防静电。详见第十三章。

4.　电源供应

⑴ 稳压应保持在±5％之内；

⑵ 脉动应保持小于 5％；

⑶ 电源供应主线应有射频旁路；

⑷ 当一个系统中同时使用几个电源时，CMOS 器件应在独立的输入源接通以前接通，

并在这些输入源断开后关闭。

5．去　　耦

⑴ 小规模 CMOS 电路每使用 10～15 个微电路就应使用 0.01～0.1μF 的射频电容为电源电压去耦，微电路与电容间的距离限制是 15mm，每一个电路板上的电源也应用一个较大的、电感低的电容器去耦。

⑵ 中大规模 CMOS 电路每个芯片用 0.01～0.1μF 去耦电容。

6. 接　　地

⑴ 只要有可能，要尽量使用接地平面，尤其当电路板上所含的器件数目较大时更应如此。

⑵ 如果接地平面不能使用，则应在印制电路板周围采用一根接地总线接地。该接地总线宽度应尽可能地宽，最小应为 2.5mm，并要将长接地总线的两端与系统接地的共同点相连。

7.输入信号

⑴ 输入信号应保持在 CMOS 器件的电源供应范围内：VDD>VIN>VSS。

⑵ 未使用的输入端应串接数百 KΩ 电阻，按逻辑功能要求接电源或地，不得悬空。

⑶ 当 CMOS 的输入端与边缘卡连接器（edge card connectors）用导线相连时，应该将分流电阻（200kΩ）与 CMOS 电源的正或负极相连。

⑷ 在诸如非稳态和单稳态多谐振荡器的应用中，应通过一个与 CMOS 输入终端串联的电阻使电流限制在微安级，以防止锁定。

8. 输出信号

⑴ 输出引线应返回一个电压上，VDD>Vout>VSS。

⑵ 长的信号线应由专门这种应用设计的电路驱动，如线驱动器、缓冲器等；

⑶ 大的电容载荷（大于 500pF）的作用等同于短路，而且可能使输出晶体管过载；

⑷ CMOS 器件的输出缓冲器晶体管当作为线性放大器，或在单稳或非稳态多谐振荡器中使用时，可能会产生过应力；

⑸ CMOS 的输出载荷在电容性方面是有限制的，任何高于器件传输性能上所标明的容性载荷都可能影响电路的速度。

⑹ 扇出的确定：首先通过将输出容性载荷进行 80％的降额。用这一载荷，再将给定的（specified）输入电容作为单位载荷，即可确定降额后的扇出，降额后的扇出计算如下：

$$0.8C_L$$

$$FO = \frac{0.8}{C_i}$$

其中：FO ——扇出；0.8 表示 80％降额；C_L —— 给定的容性载荷；~~C_i~~—— 给定的输入电容（值）。

9. 并行处理

除了三态器件以外，有源的拉起门电路不应进行并行连接，除非所有的输入和输出都用并联，而且所有的门电路都封装在一个外壳内。

10. 线路板输入输出部位保护

⑴ 对作为线路板输入输出接口的应用部位，应分别在其输入端或输出端加保护用瞬态抑制二极管（TVS），以防静电，防锁定和防瞬态过载。

⑵ 除加 TVS 外，输入口或输出口对地加电阻器，阻值一般为 10kΩ～1MΩ

11. 防“逻辑竞争”

“逻辑竞争”指线路板或电子设备内部各数字微电路输出状态变化时刻的离散性造成的短暂错误（“毛刺”）或持续错误。

“逻辑竞争”的原因有线路板或电子设备内部和外部两方面，内部原因包括时序逻辑触发时刻的离散性和信号通道传输延迟时间的离散性，外部原因是线路板或电子设备的输入与内部时钟不同步。

上述时序逻辑触发时刻离散性的原因有二，一是不同时序逻辑时钟引出端时钟有效沿时刻不一致，二是时钟有效沿不够陡加上不同时序逻辑的时钟触发阈值不等。

需遵循以下原则以防止“逻辑竞争”：

⑴ 使时钟源到各时序逻辑时钟引出端的布线长度和宽度尽量一致；

⑵ 不宜在时钟源和时序逻辑时钟引出端之间插入门电路，不得已而这样做时，被同一时钟源驱动的所有时序逻辑之间应插入数量相等、品种相同的门电路；

⑶ 时钟的有效沿尽量陡（CMOS 4000B 系列时钟有效沿的持续时间应短于 5μs）；

⑷ 必要时在有关组合逻辑的输出端加“闸门”（由逻辑门或传输门构成，并使其延时开启以阻断“毛刺”。

⑸ 采用 EDA 工具，在原理图设计阶段消除可能的逻辑竞争问题。

⑹ 对于线路板或电子设备的输入信号，尽量考虑采用同步（以内部时钟为基准）措施。

12. 防止非正常加电

CMOS 电路内的输入保护网络在输入端和输出端之间提供了二极管通路，电源不加电时，输入端施加电压可通过此通路使电路非正常加电，对作为“冷备份”的 CMOS 电路，输入端串 2～5KΩ电阻。

13. CMOS 电路与 TTL 电路的接口处理：

同一电子设备既包括 TTL 系列又包括 CMOS 系列时，它们之间的接口设计需遵循以下原则：

⑴ 各 CMOS 系列电路，在电源电压为 5V 时直接驱动各 TTL 系列电路（在不超过规定扇出值的前提下）；

⑵ 对电源电压为 5V 的 TTL 系列电路可在加“上拉电阻器”的前提下驱动各 CMOS 系列电路（但同时带来以下矛盾：上拉电阻器阻值不够小会使接口处信号上升沿不够陡，阻值过小又会使功耗过大）；

⑶ TTL 系列电路驱动电源电压为 5V 的 CMOS 系列电路时，为解决上拉电阻器带来的矛盾，可选择 54HCT 系列电路作为 TTL 系列电路驱动 CMOS 系列电路过渡电路；

⑷ 如需使 TTL 系列电路驱动电源电压高于 5V 的 CMOS 系列电路（或反之），可考虑采用电平转换器。

11.4.2 TTL 电路应用考虑

TTL 电路应用中应考虑的问题同 CMOS 电路的应用，这里不再赘述。

11.5 模拟电路的选择与应用考虑

11.5.1 模拟电路简介：

11.5.1.1 ：模拟电路的分类

模拟电路种类繁多，结合公司的应用情况，在《电子元器件正确选择与使用》中仅讨论下述几种类型：

⑴ 运算放大器；

⑵ 线性放大器；

⑶ 非线性电路；

非线性电路相对于线性电路而言，非线性电路按其运算方式的不同分为：

① 电压比较器；

② 模拟开关；

③ 时基电路；

⑷ 电压调节器；

11.5.1.2 模拟电路噪声抑制的一般措施

一般情况下，数字电路的噪声容限比模拟电路的噪声容限要大得多，所以在设计模拟电路时，除了满足电路的功能要求外，还需将更多的精力放在模拟电路的抗干扰上。

现在很多电子装置和设备是模拟电路与数字电路混合的系统。在这样的系统中，数字电路有时会成为微弱模拟量信号电路的噪声源。为确定防噪声措施，应该首先查明噪声源。通常，对于装置内部的噪声源，应从两方面考虑：一种是噪声出自元器件本身，为解决这类噪声问题，器件生产厂应该在器件设计和生产制造过程中给予充分考虑，而使用单位应该注意元器件老化筛选和挑选热反馈影响小的芯片等；另一种产生噪声的原因是由于电子电路的技术设计或装置的施工设计不合理，为解决这类噪声问题，要求设计人员注意下列几项：

① 器件布置不可过密；

② 改善装置的散热条件；

③ 分散设置稳压电源；

④ 在配线和安装位置方面要尽量减少不必要的电磁耦合；

⑤ 尽量减小公共阻抗的阻值；

⑥ 实行一点接地。

对于装置外部的噪声源，应该根据噪声的性质采取有效措施。笼统地说，应从下列几方面入手。

⑴ 对于中高压电路附近易产生静电感应噪声，它可采取的措施主要有以下几项：

① 对电子装置和引线等加接地的金属屏蔽；

② 远距离传送信息的输入输出线应有良好的接地屏蔽，尤其应保证柜体电位与传输电缆地电位一致；

③ 尽可能缩短信号线的长度；

④ 减小电路的阻抗；

⑤ 对整个系统实行全屏蔽；

⑵ 靠近强磁场时易受电磁干扰，它对集成电路器件的影响尤为严重，应采取下列措施：

① 信号线要尽量远离产生电磁感应的电力线；

② 如果受空间条件限制，信号线与电力线不能远离时，应该采取使两者的走线互相垂直的布线方式；

③ 施加电磁屏蔽。

⑶ 对于高频装置、火花放电等所产生的电磁波噪声，大功率调制、调幅电磁波、雷达波以及晶体管内部产生的高频噪声等。它应以隔断噪声传递路径为主要着眼点，施加相应的屏蔽。换掉产生较大噪声的元器件也是抑制噪声的一种措施。

⑷ 对于电网浪涌电压等噪声，它可以采用许多种抑制方式，最普遍的是在线路上设置浪涌吸收器、线路滤波器、信号输入滤波器和其他多种保护器件。

由于实际的电子装置或设备都有各自的特点，它们在电路、结构、运行条件和使用环境等很多方面是不相同的，必须结合实际情况进行具体分析，才能决定应该采取哪一种或几种行之有效的噪声抑制措施。但是就总原则来说，应该注意下列三点：

① 数字电路与模拟电路要分开接地，应采用放射形、平面形等接地方式，尽量避免使用单 根接地线；

② 对微弱模拟量电路实行全面覆盖的电磁屏蔽；

③ 采用直流隔离措施。

11.5.2 集成运算放大器

11.5.2.1 集成运算放大器的选择

1. 运算放大器的基本特点：

运算放大器的基本特征是差动输入、高电压增益和经补偿后频率特性有斜率约为“-20dB/10 倍频程”的频段，运算放大器一般具有单端输出、高输入阻抗和低输出阻抗的特点。

运算放大器的基本功能是借助于反馈构成放大、滤波、积分、振荡等多种线路。

2．运算放大器的种类：

运算放大器的类型甚多，主要的类型有通用运算放大器、高精度运算放大器、高速运算放大器、高输入阻抗运算放大器、低功耗运算放大器、功率运算放大器、高压集成运放及其它类型集成运放。

上述各种集成运放的特点如下所述：

- 通用型集成运算放大器：

一种基本的通用的集成运算放大器。

- 低功耗运算放大器

在通用型集成运放的基础上发展起来的低功耗集成运放，能够满足某些特殊的应用，如使用于对能源有严格限制的遥感、遥测、生物功能器械等应用场合或某些化工控制系统中。它在电气性能上具有下述一些特点：

⑴ 静态功耗低。通常它的静态功耗不超过毫瓦级，比通用型集成运放的静态功耗（数十毫瓦或上百毫瓦）低 1～2 个数量级。

⑵ 能在低的电源电压下工作，所以能工作于电池供电的场合，同时也能在标准电压范围内工作。

⑶ 它在较低的电源电压下工作时，不仅其静态功耗低，而且能保持良好的电气性能。如在低电源电压时它的差模电压增益一般在 80dB 到 100dB 的范围内，从而克服了通用型集成运放由于电源电压下降而引起的电气性能变劣的缺点。

其次，从电路结构上看，低功耗集成运放的特点是：

⑴ 它均采用外接偏置电阻和有源负载，使得它能在很宽的电源电压范围内良好地工作。在使用时可以方便地通过改变偏置电阻的阻值来调整其偏置电流，使其工作于最佳工作状态，以获得良好的电气特性。同时，可以借助改变外接偏置电阻的供电方式来获得程控特性。

⑵ 低功耗集成运放功耗的降低，不仅需要降低它的静态偏置电流，更主要的是要降低输出级的偏置电流，否则它的静态功耗仍然不能不降到毫瓦级。因此，所有低功耗集成运放输出级的偏置方式均采取了相应的措施，使得在规定的外接偏置电阻条件下保证工作于低功耗状态。

此外，低功耗 集成运放还具有较小的等效输入噪声电流和等效输入噪声电压的特点。

- 高精度集成运算放大器

高精度集成运放主要是指漂移和噪声非常低、增益和共模抑制比非常高的集成运放。人们有时候也称它们为低漂移集成运放或低噪声集成运放。

所谓低漂移集成运放，主要是指输入失调电压和输入失调电流随温度、时间、电源电压变化而漂移很小的集成运放。它们综合起来对集成运放构成直流输入误差信号。

低噪声集成运放主要是指噪声很低的集成运放。这种噪声包括等效输入噪声电压和等效输入噪声电流，通常它们包括散粒噪声（或称肖特基噪声）、热噪声（或称约翰逊噪声）、1/f 噪声（或称闪烁噪声）。它们综合起来将集成运放构成交流输入误差信号。

一般来说，低漂移集成运放是兼顾低噪声的，而低噪声集成运放也兼顾低漂移，因为只有这样，才能达到高精度的目的。

在毫伏量级或更低的微信号精密检测、精密模拟计算、自动控制仪表、温度转换器、高精度集成稳压器、高增益交流放大器、测量用的可变增益放大器等设备中，都迫切地要求使用低漂移集成运放。

除了低漂移和低噪声外，高精度集成运放还必须具有高电压增益、高共模抑比和高输入阻抗等特性。

- 高输入阻抗集成运放

高输入阻抗集成运放是集成运放的重要分支，它主要应用于下述电路：

采样－保持电路、模拟调节器（比例－积分－微分运算和保持电路）、优质的对数放大器、失调电压自动调节电路、应用高阻抗信号源的电路、应用阶梯波发生器、测量放大器、带通滤波器等。

电压跟随器也是一种很好的阻抗隔离器。它有很高的输入阻抗（大于 $10^7\Omega$）和较低的输出阻抗。

- 高速集成运放

在 A/D 和 D/A 转换器、有源滤波器、高速采样－保持电路、锁相环电路、模拟乘法器和精密比转器以及视频放大器等电路中，均需要采用高频率或高转换速率的高速集成运算放大器。

高速集成运放设计中的主要目标是提高大信号工作状态下的频率特性。同时，考虑到它在一般情况下功耗较大，为了不致由于散热条件不良而造成温度漂移特性的变坏，还必须十分重视外壳的散热设计。

根据不完全统计，在国际上几千种集成运放中，高速集成运放就占 300 种以上，它们的转换速率大部分在一百到几百伏/微秒，少数是 50 伏/微秒，个别可达到 1000 伏/微秒；单位增益带宽大部分在 10 兆赫左右，少数为几百兆赫，个别的达到 1000 兆赫。

- 高压运放

高压运放是为解决高输出电压或高输出功率的要求而设计的。

在通用运放的输出端加接一个高电压输出级，就可得到高输出信号。

- 其它类型集成运放

a. 跨导型集成运放

跨导运放的功能是将输入电压转换为电流输出。并通过外加偏压控制运放的工作电流，从而使它的的输出电流可在较大的范围内变化。

这类电路与国外产品 LM3080、LM13600 等类似。这些电路的线路结构简单，便于使用，并具有多种用途。它的外偏置也可作为程控用。

b. 程控集成运放

程控集成运放的恒流源电路可由外部进行控制，以决定它的工作状态。当恒流源有注入偏流时，运放就处于工作状态；否则就处于截止状态。此外当改变偏流值时，该运放的参数也将随之发生变化。

这类电路如按电路封装分类，有单运放、双运放、四运放。如按功率分类又有微功耗型的和功率型的。国外同类产品有 LM4250、LM13080、LM146 和 MC14573 等。其中 MC14573 是 CMOS 电路，与它相近的还有双运放（双比较器电路）MC14575。

这类电路使用灵活，应用广泛，可用于测量电路、汽车电子线路和有源滤波器等方面。

c. 电流型集成运放

电流型集成运放也称“诺顿”放大器。它与一般运放的区别在于前者对电流进行放大，后者则是对电压进行放大。因为它的电路形式也是差分输入型的，因而与普通运放相比同样便于使用。

国外同类产品有 MC3301、MC3401、μA3301、μA3401、LM1900、LM3900、LM3301 和 LM3401 等。

由于这类电路结构简单，且可在低压、单电源条件下工作，所以应用这种电路更为方便。它广泛应用于放大级、缓冲级、有源滤波器、波形发生器、逻辑转换电路及汽车电子线路等方面。

d. 集成电压跟随器

集成电压跟随器是一种深度反馈的单位增益放大器，专门设计用作电压跟随器。性能比用运放作电压跟随器好得多，其输入阻抗高，转换速率快，该电路无外接元件，在阻抗变换器/缓冲器、采样/保持电路、有源滤波电路、峰值检测电路和其它一些应用场合得到广泛应用。

2. 运算放大器的选择指南

前面介绍了各种运算放大器的主要特点，运放的选择应注意以下问题：

⑴ 在品种选择前，先根据应用部位的要求进行二级类型选择（例如精度要求很高时选择精密运算放大器，建立时间要求很短时选择高速运算放大器，信号很微弱时选择低噪声运算放大器等）。

⑵ 输入失调电流在外部电阻上的压降起着与输入失调电压等效的作用，因此，在应用部位对精度有较高要求时，待选品种除输入失调电压应足够小外，其输入失调电流也应足够小（若信号源内阻很高，宜选择场效应管输入运算放大器）。

⑶ 选择运放时噪声的考虑：

输入噪声电流在外部电阻上的压降起着与输入噪声电压等效的作用，因此，在应用部位对噪声有较严要求时，待选品种除输入噪声电压应足够小外，其输入噪声电流也应足够小（若信号源内阻很高，宜选择场效应管输入运算放大器）。运算放大器使用中由于自身的噪声特性（输入噪声电压及输入噪声电流）对输出的影响与外部电路条件有密切的关切。

值得注意的是 Bi－MOS 型运算放大器的电压性噪声非常大，频率为 10Hz 的噪声电压可达 300nV/$\sqrt{\ }$Hz（例如，CA3140），因而不宜用于低电平放大电路。

通常，运算放大器的输出随环境温度变化而改变，这是其温度漂移特性所决定的，因此，应该选用温度~~漂~~移小的运算放大器。

⑷ 构成闭环放大器时，运算放大器开环电压增益不为无穷大造成的相对误差等于线路环路增益（等于运算放大器开环电压增益与线路反馈系数的乘积）的倒数，若应用部位的精度要求很高，运算放大器的开环电压增益应足够高。

⑸ 构成同相放大器时，由于运算放大器共模抑制比不为无穷大而造成的相对误差等于共模抑制比的倒数，若应用部位的精度要求很高，运算放大器的共模抑制比应足够高；

⑹ 构成正弦波放大器时，某一频率下的相对误差随该频率下线路环路增益的减小而增大，若应用部位的高频精度要求很高，运算放大器的单位增益带宽应足够大；

⑺ 构成正弦波放大器时，不出现转换速率限制失真（表现为输出波形趋于三角波）的最高频率与输出电压幅度成反比，并与运算放大器的转换速率正比，若应用部位要求输出高频大幅度正弦波，则运算放大器的转换速率应足够高。

⑻ 构成多路转换开关后置放大器时，转换开关的允许最高工作频率与规定精度下的建立时间成反比，若应用部位要求转换开关在很高的频率下工作，运算放大器的建立时间应足够短。

⑼ 若应用部位工作频率较高（几十千赫以上），对精度要求不高且不要求通过直流信号时，可优先选择线性放大器中的宽带放大器。

⑽ 若应用部位需要差动放大器（输出正比于两个输入之差的放大器），优先选择线性放大器中的仪用放大器。

⑾ 若应用部位要求完成电压比较任务（在两个电压相等时给出信号），优先选择门类“接口微电路”中的电压比较器，只有在响应时间允许很长时（10μs 量级）方可考虑选择运算放大器。

11.5.2.2 集成运放的应用指南

1. 补偿设计

补偿是运算放大器在负反馈闭环状态下应用时防止自激的必要手段。

对于非内补偿的运算放大的运算放大器，应分别考虑每个运算放大器的补偿方案（不应不加考虑地一律采用手册给出的典型补偿方案）。

检验补偿效果的主要手段是小信号方波响应测试（小信号的条件是输出电压变化率的最大值小于器件的转换速率）。

补偿设计应遵循的基本原则如下：

(a) 采用单电容密勒补偿时，若对交流指标要求较高，补偿电容器的电容量应根据反馈的强弱确定。反馈愈弱，容值愈小。

(b) 反相输入端对地有较大电容时（例如连线较长且为屏蔽线时），为保证稳定度，应考虑在反馈电阻器上并联小容值电容器，同时注意由此带来的压缩带宽的副作用。

(c) 运算放大器（特别是高速运算放大器）带大电容负载时，需考虑采取补偿等措施防止自激。

(d) 闭环内除运算放大器外还有无源环节或其他有源环节时，补偿设计应着眼于整个闭环（而不是只注意运算放大器本身）。

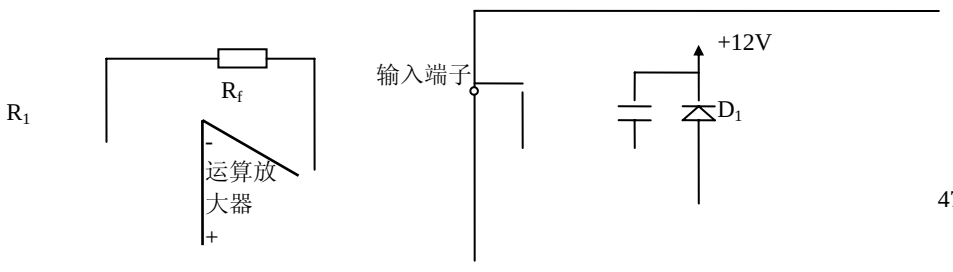
2. 运算放大器作为线路板输入输出的保护

- 作为线路板输入接口的应用部位，应考虑加输入端过载保护。

运算放大器的输入电路最易引入噪声，异常的输入信号电压和静电放电及电磁感应等都易引起异常故障。设计时应首先注意下列各点：

(1) 防止异常输入电压　　为避免输入端子间出现异常电压损坏运算放大器，可如图 11.6.4(a)所示，在两个输入端子间反向并联二极管 D_1 和 D_2。

(2) 外部设备的输入端子往往引入高压静电，若这些端子直接连着运算放大器的输入端子，则高压静电放电会损坏运算放大器或使其发生误动作。可输入端并联静电放电二极 D_1 和 D_2 作为保护措施。输入电压动态范围较大时，如图 11.6.4(b)所示，将二极管接到正、负电源上，并通过附加电容器将电源可靠地接地。如果外部输入信号为电流检测等低电平信号，其上的电位很低，基本上可以忽略不计时，可如图 11.6.4(c)的所示，将二极管直接接地。



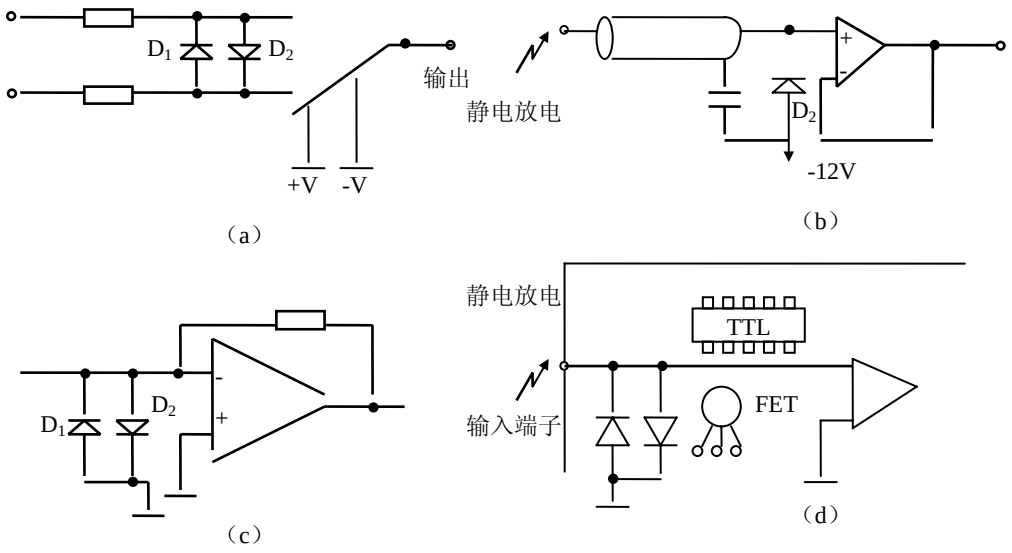


图 11.6.4　保护二极管的接法

(a) 输入端反并联二极管　　(b) 二极管接电源或接地　　(c) 设备的输入端接入反并联二极管

当输入端子的引线采用无屏蔽保护的导线时，该线附近的 TTL、FET 和运算放大器有可能因静电感应而损坏。这时，可在放大器输入端子侧采用图 11.6.4(d)所示的保护方法，避免静电侵入内部。

通常，评价静电放电保护能力的标准是：“给 300pF 电容充上 15000V 高压后向被测试端连续放电时，既不损坏元件，也不引起误动作”。从保护角度来说，用二极管或几千微微法到几微法的电容器都可起到保护作用。但是，如果输入是频率较高的交流信号，则用电容器吸收会使输入信号发生相位移。此外，若在电流－电压变换器的输入端子接入电容器，还可能加大噪声。所以采用电容器作保护器件时，必须事先对电路特性有充分考虑。

- 作为线路板输出接口的应用部分，应考虑加输出端短路保护（即使电路本身已有输出保护功能也要加短路保护），一般采用在输出端连线中串连电阻器的设计。若被保护对象为闭环运用的运算放大器，为了使串联电阻器能起到保护作用，它应位于反馈点之后。此时，应注意电阻器的压降对精度降低的影响。

(3) 抑制电磁感应：这里仅讨论频率在 10MHz 以上的电磁波所引起的电磁感应噪声。运算放大器电路在较低频率工作时不必考虑电磁感应的影响。但是，当所接收的输入信号混入载波频率为几十兆赫的调幅信号时，虽然调幅信号本身频率低于 100kHz，却仍会干扰运算放大器电路的工作，当此调幅信号进入运算放大器后，运算放大器对其进行非线性整 ，在输出波形上将叠加高频调幅信号。这时应在运算放大器输入端插入简单的低通滤波器，把该高频调幅成分滤掉。

确定低通滤波器的截止频率时，应考虑其对被测信号频率和检测精度的影响，不能兼顾时，可采用 *LC* 型低通滤波器。

(4) 抑制高频共模噪声

运算放大器的高频共模抑制比（CMRR）较差，例如，LF356 的 CMRR 在 100Hz 时大于 80dB，而在 100kHz 时降为 30dB，到 1MHz 时仅为 3dB。

在常见的运算放大器电路中，共模电压的大小与噪声能量有关，它随接地阻抗及噪声频率成正比地增大。频率越高，共模电压越大，抑制也越困难，所以在高频电路中要尽量减小接地电阻。

3. 输出振荡的抑制

运算放大器在使用中可能出现输出振荡现象，这是因为实际电路中存在分布电容，使一部分输出信号正反馈到放大器输入端的缘故，或者是因为外围电路侵入了噪声。一般来说，振荡很少是由于设计参数选择不当造成的，理论上可以对电路作稳定性计算，作出稳定性判断，但结果和实际往往相差较远，所以要在实际电路组装后进行调整。

对于已发生振荡的电路，查寻振荡的方法比较简单，只要把该电路的输出接到示波器上用手指触摸电路各个部分，引起振荡频率改变或者振荡停止的部位便是产生振荡的最敏感处，也就是产生振荡的主要部位。然后对该部位进行分析处理和改进。

但是，判断未发生过振荡的电路是否会在外界噪声影响下产生振荡则比较困难，通常可从下述三个方面着手：

① 把阶跃量加到输入端，观察输出端的波形，可根据波形形状来判断该电路是否易发生振荡。

② 在运算放大器输出端接容性负载，测出其允许的最大容性负载值。在实际线路中应使负载的电容量小于此允许值，并留有裕量。

③ 选择元件时，尤其是电容器和晶体管，要注意它们的温度特性。

此外，电源波动也能引起振荡，应从电源方面考虑相宜措施。

4. 防干扰

1> 电路的同相输入端、反相输入端、调零端和补偿端的连线应短而细，并远离干扰源。可在这些连线周围安排大面积保护带（接到地、虚地或适当电位）。但这时必须注意由此增加的对地分布电容可能带来的使交流性能降低的副作用。

2> 在使用运算放大器或使用内含运算放大器的芯片如电源等装置内，运算放大器、变压器和模－数转换器等大多数设在同一块底板上，安装密度较大，如果器件布局不当，便会产生干扰。

如果高灵敏度的运算放大器放在工频变压器旁边，处在变压器漏磁通回路范围内时便不能正常工作。这种干扰与所用变压器的结构、漏磁通的方向和大小有关，如环形变压器的漏磁通便很小。同时，在设计阶段注意器件布局，使高阻抗电路或高灵敏度运算放大器与变压器之间保持相当间距便能排除干扰。还应注意，所用底板若采用双面布置时，变压器底下绝不可放置运算放大器。

5. 保证高精度

1> 防电源内阻耦合：对于高速运算放大器，需在每个电路每个电源引出端的近旁装一只去耦电容器，电容值一般取 0.01~0.1μF。对于其他类型的运算放大器，可为几个距离较近的电路配一只共用的去耦电容器。

2> 运算放大器的接地：在大多数情况下，信号表现为输入端、输出端相对于地的电压，因此，地线耦合会直接影响精度。

低频弱信号采用一点接地，在模－数、数－模或电流－电压转换器中，对运算放大器精度的要求很严格，正确处理接地方式十分重要。

对交流输入信号，在合适位置配置简单的旁路电容器，便能改变信号流通回路，可以避免接地电流产生噪声。但对直流输入信号，电流的旁路和流通回路仍需经过地线，消除地电流的影响比较困难。此外，电源负载电流、继电器的驱动电流、开关控制电流和 TTL 信号电流等都要经过各自接地点流入地线，只要其中一个电流有变化，地线上各接地点的电位便会变化，所以在低频弱信号放大电路中，接地点处理不当就会成为一种噪声源。

以图 11.6.7 的两级放大电路为例，电路有 A、B、C、D、E 5 个接地点串联连接，两级放大倍数为 40dB 或 60dB，假设输入为直流或 100Hz 以下的 10mV 信号电压。若由 A 点接系统地，当继电器 J 未动作时，前后级放大器增益均为 20dB，当输入为 10mV 时，负载电阻 R_L 的电压为 1V；电流为 10mA，此电流通过 E→ →D→ →C→ →B →A 地，返回电源。此时各点地电位都不相同。

通常宽 1mm、长 10cm 的印制导线直流电阻约 50mΩ，假设 E 到机壳的地线总长为 10cm’且各接地点间距相等时，则相邻两个接地点间有 100μV 的电位差。A 与机壳地之间及 A 与 D 点之间的地电位差导致信号放大输出出现误差。而当继电器 J 接通时，前级放大增益增加到 40dB，继电器 J 的驱动电流由 C 到 A 将产生更大的误差。

若由 E 点接系统地，通过 R_L 的负载电流从 E 直接入地，对 A～D 各点地电位没有影响，但是当继电器动作时，其驱动电流仍然会造成各点地电位的差异，没有太大改善。

若将 A 和 E 同时接机壳地，接地电流流向复杂，不仅仅存地电位差，而且还形成很大的接地环路，在外界交变磁场的作用下形成地环路电流噪声，所以这种接地方式更不可取。

正确的接地方法是各点各自直接连线到系统地，即一点接地方法。如图中下方所示，这种接法显然不会因负载电流和继电器驱动电流产生地电位差，但缺点是加长了接地引线，高频时其阻抗增大，容易受高频噪声干扰。

在高精度数字电压表等低频微弱信号检测装置上，必须采用上述一点接地方式。若电路涉及多块印制电路板时，应该在母线上设一接地点，然后，由此点向各板放射式引线。

对功率运算放大器应特别注意将与输入端相连的地线与负载的地线分开。

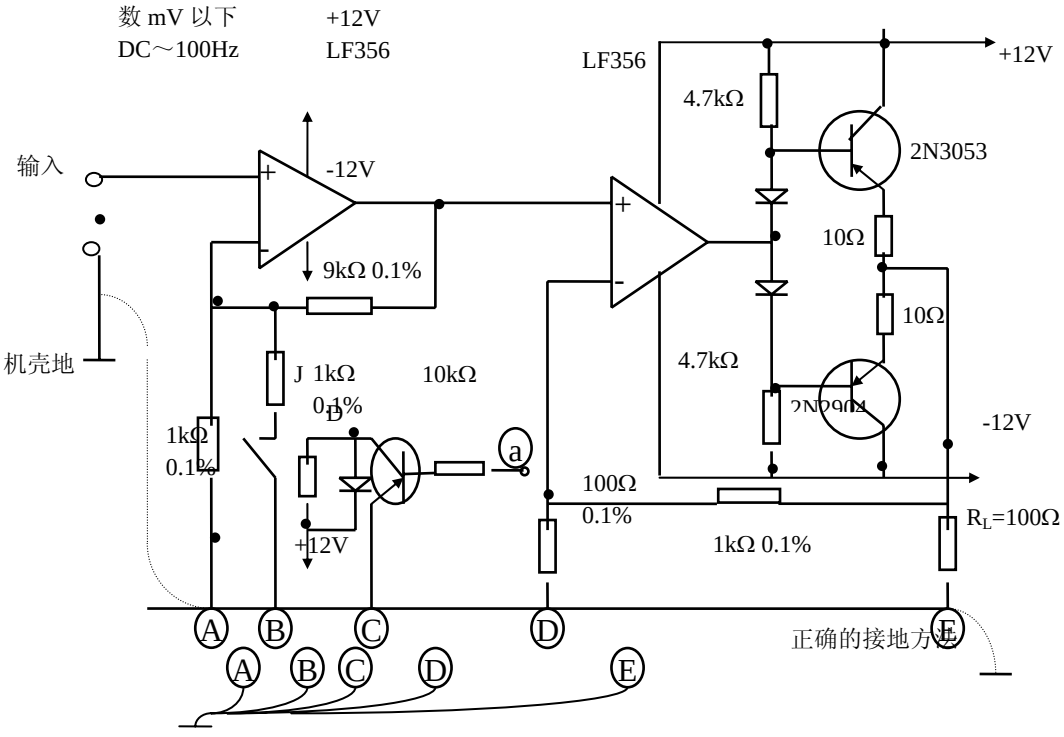


图 11.6.7　两级放大电路的接地方法

3>　防热电势；电路的固有温漂极低时，为防止寄生热电势使线路温漂远大于器件温漂，可采取以下措施：

a. 合理选择印制板导电带涂覆材料，电连接器触点涂覆材料和焊锡牌号，防止它们与电路引线涂覆材料形成热电势过大的寄生热电偶；

b. 合理安排热源位置，减小输入端连线所在区域的温度梯度。

对温漂低的运算放大器进行测量时，由于线路恒温箱内外温差大，更需要采取防热电势措施。

4> 防漏电：若运算放大器的输入偏置电流极小，同时输入端对地所接外部电阻极大，为减小绝缘漏电的影响，可采取以下措施：

a. 用由绝缘性能和耐辐射性能良好的材料制成的接线柱将输入端架空；

b. 在印制板上用保护带包围输入端，保护带接到与被保护输入端等电位的点。

6. 运算放大器作比较器的应用

在实际中由于各种原因：如空间、成本等，需用运算放大器构成比较器。用运算放大器构成比较器时，常采用图 11.6.8 中的(a)、(b)、(c)三种电路，它们都能与 TTL 或 CMOS 电路连接。输出端的稳压管 D_2 或二极管 D_1、D_2 起输出限幅作用，防止过电压侵入逻辑电路。

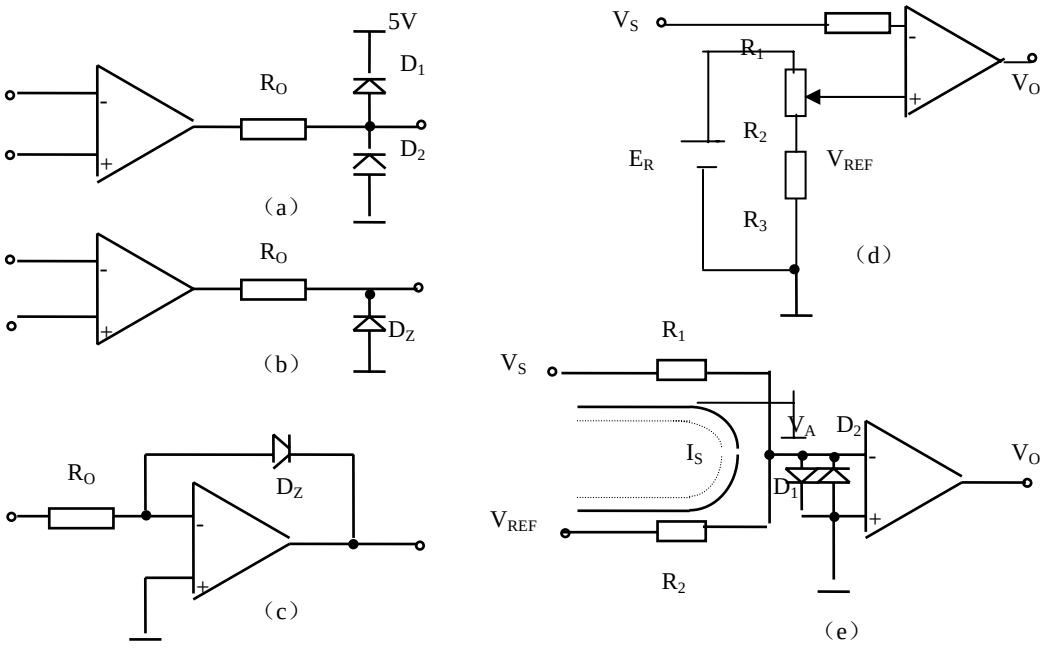


图 11.6.8 用运算放大器构成的比较器

(a) (b) (c)比较器常用的结构 (d) 电压比较型 (e) 电流比较型

按使用方法，比较器分为图 11.6.8 (d)的电压比较型和图 11.6.8(e) 的电流比较型。图中 V_S 为信号输入电压，V_{REF} 为基准信号。电压比较型只要单一电源，输入阻抗较高，但稳定性较差，当 $V_S > V_{REF}$ 时，输出电压 V_O 为“1”，当 $V_S < V_{REF}$ 时，输出电压 V_O 为“0”。电流比较型的精度高，响应快，稳定性好，但是为提高精度，必须加大图

11.6.8(e)中的信号电流 I_S，而它又受 R_1 和 R_2 的限制，需仔细均衡。如果 $R_1=R_2$，则 $V_S>V_R$，这时差值电压 $V_A>0$V，V_O 为“1”；若 $V_S<V_R$，则 $V_A<0$V，V_O 为“0”。

使用运算放大器作比较器时应该注意下列问题：

(a) 输入保护　在输入端前加输入过压保护二极管和输入限流电阻 R，一般 R 为 10kΩ 以下。

(b) 输出保护　比较器的输出可能有两个问题：一是输出端出现短路故障时，运算放大器功耗过大而导致过热损坏，为防止此问题，可在输出端串接限流电阻 R，阻值以 300 为宜；二是输出线过长时，可能因受雷电和开关浪涌而导致输出过压损坏，为防止此问题，可在输出端并联两个反接稳压管和压敏电阻作为过压保护措施。

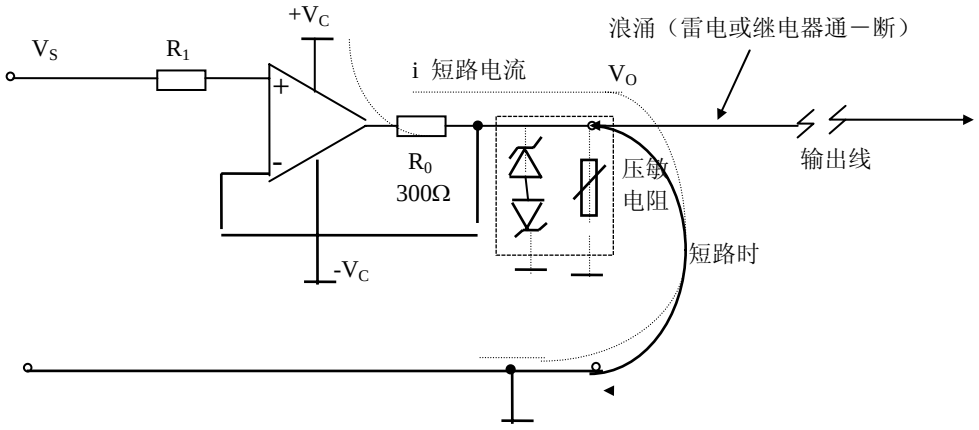


图 11.6.10　比较器的输出保护电路

(c) 防止干扰误动作　通常，比较器输入信号 V_S 中难免含有噪声信号，有时产生误动作，例如，实际输入信号波形如图 11.6.11(b)所示，在输入信号电平 V_S 接近基准信号电平 V_{REF} 时，噪声信号将引起比较器误动作，于是与其接口的数字电路将得到错误信息。为此，可以采用图 11.6.11(a)所示的滞后比较器，此时的输入输出波形如图 11.6.11(c)所示，形成一个幅度为 V_H 的动作死区，避免比较器发生误动作。显然，这是牺牲了精度换来的。

11.5.3 线性放大器

11.5.3.1 宽带放大器

宽带放大器是一个较宽的类型范畴，包括射频和中频放大器。

宽带放大器的基本特征是频带宽（上限为 100MHz 量级）和增益低（电压增益一般不高于 40dB 量级）。它具有大的相移，不能闭环工作。

1. 宽带运放选择时注意事项

⑴ 若应用部位对增益精度要求不高，宜选择增益不可调或增益可有级调节的品种，否则应选择增益可微调的品种；

⑵ 若应用部位有实现 AGC（自动增益控制）的要求，应选择增益可压控的品种；

⑶ 若应用部位要求实现某种滤波特性，应选择频率特性可控（借助于外接电抗元件）的品种。

2. 宽带运放使用时注意事项

⑴ 电源的旁路：

在每个电路电源的引出端近旁装旁路电容。旁路电容最好由两个电容并联而成，其中一个是小容量电容，一个是大容量电容。如果条件限制，最小应有一个 0.01μF~0.1μF 的旁路电容。电容的接地点与负载相连接最好。

⑵ 宽带运放 PCB 板的布线要求

应用宽带集成运放时，应尽可能减小布线，印刷电路板和连接线等引起的附加负载电容。这个电容将使输出信号衰减，还能使-6dB/倍频程的补偿遭受破坏，以致放大器将处于不稳定工作状态。

⑶ 宽带运放应用时补偿考虑

即使对于同一个运算放大器，它的高频或宽带特性也强烈依赖于电路实际工作时的补偿条件。一般地说，当运放闭环工作时负反馈越深（闭环增益越小），则所需施加的补偿电容量也越大，因而集成运放的带宽也越窄。因此，可通过改变补偿条件以加宽放大器的工作频带。

⑷ 宽带运放使用时的接地

宽频带运算放大器采用平面接地，单片运算放大器的频带可以很宽。例如，LM318 的频带为 10～20MHz，图 11.6.12 (a)是在环境温度 T＝25℃、电源电压 VS＝±15V 时，LM318 的开环放大倍数频率特性，可对 1MHz 的信号进行运算，但是低于 10MHz 的噪声也同时被充分放大，即使输入为低频信号，在运算放大器的整个频带内也会出现噪声，因此必需在电路设计、接地方式和元件配置方面充分考虑，否则不可能达到预期目标。

图 11.6.12 (b)是 LH0032C 型集成运算放大器开环放大倍数频率特性，与图(a) LM318 型有同样条件，但其负载电阻 R_L 为 1kΩ。从该特性曲线可知，频率在 10MHz 以上时为 42dB/10 倍频程的斜率，如无频率补偿措施，可能产生高频异常振荡。

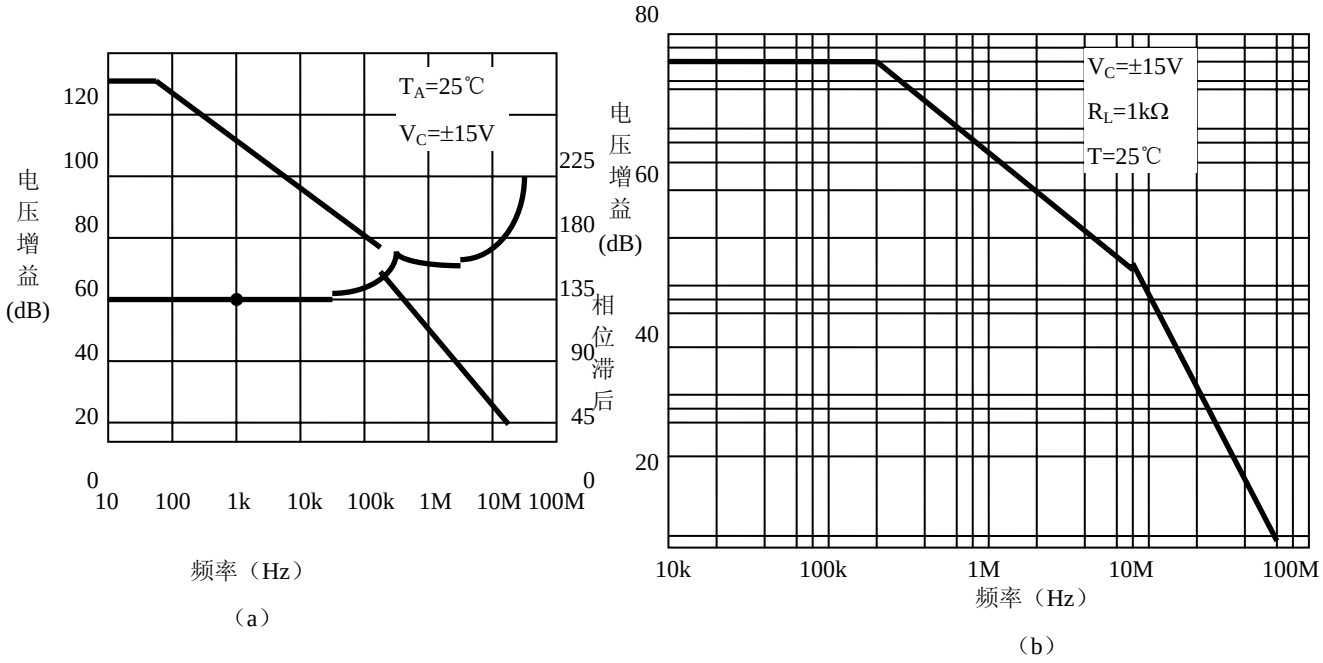


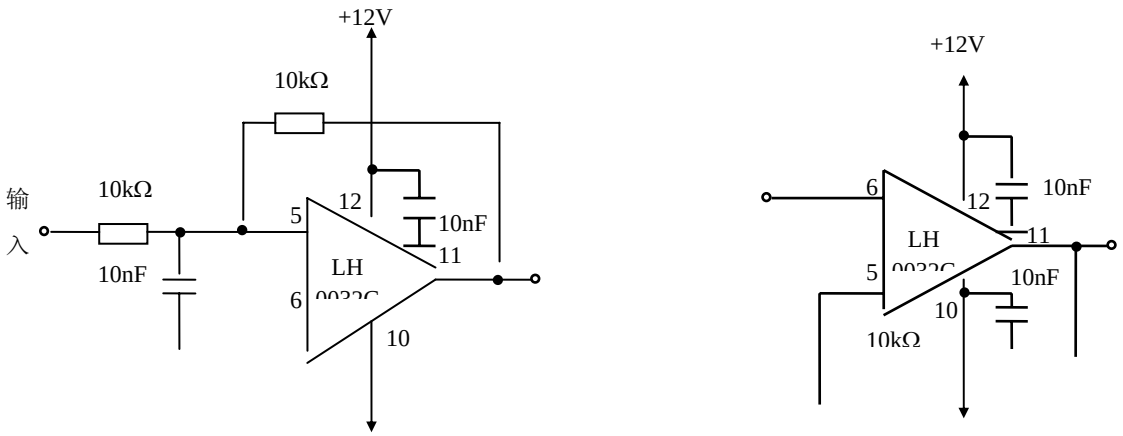
图 11.6.12　运算放大器开环放大倍数频率特性

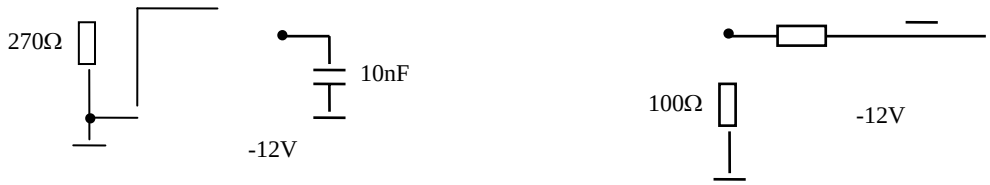
(a)　LM318 型　(b)　LH0032C 型

实践表明，当频率超过 10MHz 时，不论印制导线多么短，其具有的阻抗都不可忽略。一般 1cm 约为 10nH，长 5cm 导线两端间的阻抗在 50MHz 时约为 15Ω，如果流过 1mA 的高频电流、则接地电位差为 15mV；而且，两条平行线间分布电容的影响也不可忽略，两条长 5cm、间隔 2mm 的平行线之间电容为 2～3PF，在 50MHz 时，1V 电位差所产

生的静电电容耦合电流约为 1mA；此外还有地线间的互感等，这些原因必然使地电位不等而出现地电流，不仅电子电路本身不能正常工作，而且会成为其他电路的噪声源。

采用图 11.6.13 (c)和(d)的平面接地方式，能保证较低的接地阻抗，即使出现接地电流，各接地点间的电位仍大致相等，地电流造成的干扰可以忽略。此图的印制电路板正面均为地线平面，反面为信号用的印制导线。





(a) (b)

图 11.6.13　平面接地方式的高频放大器

(a)　反相器原理图　(b)　100 倍放大器原理图

(c)　反相器的印制电路板布置图　(d)　100 倍放大器的印制电路板布置

⑸　宽带放大器的防辐射处理

在处理高频高电平信号时，时常向外辐射高频噪声信号，成为其他电路的巨大噪声源。这时应采用三层结构的印制电路板，最下面一层是接地平面，中间一层传输信号，这种结构对防止印制导线向外辐射噪声相当有效防止组件本身向外发射噪声，可把整个电路板装在铝盒中，如图 11.6.14 所示。这是一种行之有效的办法，但要注意结构的通风散热。

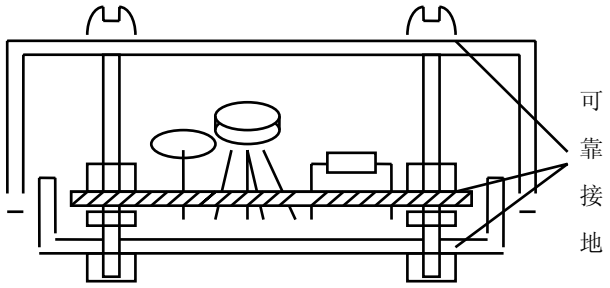


图 11.6.14　印制电路板装入铝盒

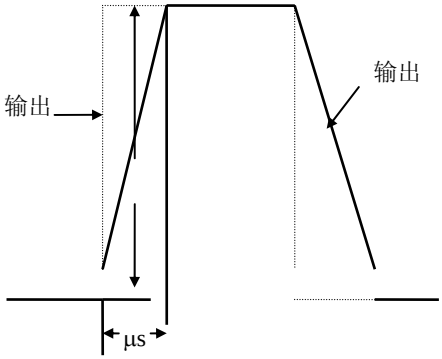


图 11.6.15　信号前后沿过陡引超波形畸变

此外，宽频带放大器所处理的信号有时前沿很陡，如图 11.6.5 中的虚线所示，由于放大器的响应速度不够快，往往使输出波形发生畸变。放大器的响应速度以 V/μs 来衡量，如 LM318 型运算放大器的响应速度为 70V/μs。在处理陡前、后沿脉冲信号时，要注意运算放大器的这项参数。

11.5.3.2 仪用放大器

仪用放大器的基本功能是构成高精度差动放大器。

仪用放大器选择与应用应注意的问题：

① 如输入信号中混用大的共模干扰，应选择共模抑制比足够高的品种，还需注意到仪用放大器，共模抑制比几乎与增益成正比的特点。

② 如信号源内阻较高，应选择输入失调电流和输入噪声电流都足够小的品种。

③ 负载与仪用放大器相距较远且应用部位对精度有较高要求时，应选择有独立于输出端的敏感端的品种（这种敏感端一般有两个，可分别通过走线接负载的高端和低端）。

④ 被选品种有敏感端和参考端，且负载与仪用放大器相距较远同时负载电阻较低时，为避免负载电压与仪用放大器输出电压不等所造成的误差过大，应使第三端通过单独连线与负载高端相连，参考端通过单独连线与负载低端相连。

11.5.4 非线性电路

11.5.4.1 比较器

一. 选择指南

电压比较器的基本功能是当输入差模电压过零时在输出端给予出从一个极限值到另一个极限值的电压高速变化，可以认为电压比较器是一个 1 位模/数转换器。

读出放大器也可归入电压比较器的范畴。

电压比较器包括低速（响应时间 1μs 以上）、中速（响应时间 100ns~1μs）、高速（响应时间 10~100ns）和超高速（响应时间 10ns 以下）四个二级类型

电压比较器选择应注意的问题如下：

(a) 在品种选择前，先根据应用部位对响应时间的要求进行二级类型选择；

(b) 应用部位对精度要求较高时，选择输入灵敏度（或开环电压增益）足够高的品种，但高的输入灵敏度和短的响应时间往往不可兼得，故在应用部位既要求高精度又要求高速度时需合理兼顾这两个互相有矛盾的要求；

(c) 输入失调电流在外部电阻上的压降起着与输入失调电压等效的作用。因此，在应用部位对精度要求较高时，待选品种除输入失调电压足够小外，其输入失调电流也应足够小（若信号源内阻很高，宜选择场效应输入比较器）。

二. 应用指南

1. 防开环自激

在电压比较器的翻转过程中，其输出波形的沿有时并非单调上升、下降而含有多次上升、下降。这种现象会导致后置数字电路误码。

以上现象的实质是由各种寄生耦合造成的电压比较器开环自激。

防开环自激的措施如下：

a. 防电源内阻耦合

在每个电路每个电源引出端的近旁装一只去耦电容器，其值一般取 0.01~0.1μF。

b. 防布线寄生耦合

(a) 按“会聚于一点的分别地线方式”进行地线设计；

(b) 同相输入端、反相输入端、调零端和补偿端的外部连线都应短而细，并远离输出端连线，不用的调零端和补偿端不要有外部连线；

(c) 载有交变大电流的连线所形成环的面积应尽量不，以求将寄生布线也感减至最小。

c. 加正反馈：加正反馈可加速电压比较器的翻转过程，有利于防开环自激，但同时会造成两个方向的输入比较阈值不等。

2. 防瞬态过载

作为线路板输入接口的应用部位，应考虑加输入端过载保护。

作为线路板输出接口的应用部位，应考虑加输出端短路保护（即使电路本身已有输出保护功能也要加短路保护），一般采用在输出端连线中串联电阻器的设计。

3. 防干扰

a. 减弱与干扰源之间的寄生耦合

电路的同相输入端、反相输入端、调零端和补偿端的连线应短而细，并远离干扰源。可在这些连线周围安排大面积保护带（接到地、虚地或适当电位），同时注意由此增加的对地分布电容可能带来的使交流指标降低的副作用。

b. 加正反馈

加正反馈后，输入变化的两个方向对应的比较阈值将不等。如欲保证其中一个阈值不受正反馈影响，可用二极管阻断有关方向的正反馈。如欲同时保持两个阈值的精度，需在以上措施之外再采取稳定反馈量的措施。

11.5.4.2 模拟开关

一. 模拟开关的主要参数

模拟开关和多路选择器统称为模拟开关。多路选择器一般是由一组模拟开关构成的，它们在控制端所加电压的控制下轮流导通。

从输出状态讲，有单端（如双路单刀单掷开关）和差分（如双四选 1 模拟开关）两种。

单端结构适用于所有信号都传输到一个公共点，而差分的则是两个点。在这种情况下要考虑开关的匹配问题（导通电阻、漏电流、电容）、共模抑制以及在先断后通的开关瞬的系统容差。

导通电阻随输入电压的变化会产生一定的波动，该波动值用导通电阻平坦度来度量ΔR_{ON}。模拟开关通常包含多路通道，导通时，各通道的导通电阻有一定的差值，该值用导通电阻一致性衡量。

模拟开关的主要参数如下：

① 模拟开关的主要的参数是：

a. 导通电阻 RON，是模拟开关处于开通状态时的沟道电阻值。

b. 开关速度是指从控制信号作用到输出模拟信号之间的延迟时间，开关速度受到模拟开关负载的影响，毫微秒的开关速度是很容易达到的。

c. 开关电流是流过开关通道的电流。

d. 导通方式：导通方式有两种，即先通后断和先断后通。

e. 接口：接口对于模拟开关来说，是最重要的参数之一，最重要的接口准则是逻辑一致性。

f. 供电，有双电源供电和单电源供电两种。

g. 泄漏电流：

一个理想的模拟开关，导通时电阻为零，断开时电阻为无穷小，实际模拟开关断开时为高阻，漏电流不为零。常规的 CMOS 模拟开关漏电流为 1μA，应用时如果信息源内阻很高，传输的信号是电流量，就特别需考虑模拟开关的泄漏电流。

② 多路选择器主要参数如下：

a. 系统衰减：包括在多路选择器和多路转换器以及传输路径中的信号损失。

b. 通道隔离：在低频下，是通道中泄漏电流的函数；高频下是器件和系统电容的函数。

c. 串扰：造成串扰的因素很多，主要是开关通道之间，由于先断后通存在缺陷、开关泄漏、开关电容及电路杂散电容的存在等原因。

d. 噪声：噪声源包括 Johnson 噪声，它主要产生于电阻元件、窜扰、漏电、开关瞬间及热 EMF 中。

二. 模拟开关的选择与应用：

要合理地选择与应用模拟开关，必须考虑的问题有，电路参数的要求，输入信号的情况，供电情况，控制接口及性能价格比等大的方面，具体应注意的细节包括：

⑴ 一般情况下优先选择开关器件为 CMOS 品种，如果导通电阻随输入信号幅度变化造成的后果（如输出波形失真）必须加以限制，则应选择开关器件为结型场效应管的品种。

⑵ 待选器种的输入信号范围应能覆盖应用部位的输入信号范围，后者为单极性时，可选择输入信号范围不包括负电压的品种（例如 CMOS4000B 系列中的某些品种），否则应选择输入信号包括正、负电压品种。

⑶ 如应用部位能保证模拟开关一端的电位等于或接近于地电位（例如模拟开关接运算放大器虚地的情况），宜应选择“电流开关”，以求简单。

⑷ 对于选择器，应根据应用部位的特点选择“先断后通”型或“先通后断“型的品种（实例之一是数据采集系统中的选择器应选择“先断后通”型以防止各信号源互相短路，实例之二是用于放大器增益控制的选择器应选择“先通后断”型以防止运算放大器瞬时处于开环状态）。

⑸ 选择控制电压逻辑电平与应用部位控制指令逻辑电平相容的品种。

⑹ 应用部位有可能出现过载时，选择有输入过载保护的品种。

⑺ 应用部位输入信号很弱时（例如信号源为热电耦的情况），应选择内部热电势足够低和控制端对输出端的耦合（称为“电荷转移”）足够小的品种，如除输入信号很弱外信号源内阻又很高，应选择内部热电势、电荷转移和漏电流都足够低的品种。

⑻ 根据应用部位地具体要求，选择导通电阻足够低，速度足够高和通道间隔离度足够高的品种。

⑼ 如果是 MOS 电路，则应采取相应的抗静电措施，如将未用的输入端不得悬空等。

⑽ 模拟信号输入 V_S 应小于等于电源电压。

⑾ 当 f ≤10MHz 时,可优先选择 CMOS 模拟开关, f＞10MHz 时,可选用双极型工艺模拟开关。

11.5.4.3 电压调节器的选择应用

一. 电压调整器的主要参数：

安全工作区（SOA），是用来定义输入和输出电压范围和负载电流范围的，在此范围内器件的使用是安全的。超过这些极限会导致灾难性的抢购或会使器件出现暂时的不工作（无输出），这是器件本身的特性决定的。具有内部电流限制用热保护和短路保护的集成电压调整器超过 SOA 仅仅会关闭，同时，外部元件，象旁路晶体管，会对其作出响应。

尽管特定设计方法依赖于电压调整器的类型和应用，但很多参数适用于所有稳压电路，使其安全、可靠的工作。

输入电压的上下限由两个因素确定：最大输入电压和输入—输出差分电压。

负载电流是最大的稳压电路的传输电流，电压调整器中消耗的功率是输入—输出差分电压和负载电流之积，该值一般是在给定环境温度以内定义的。这一额定值通常是指结温不超过 150℃时的情况，功率额定值是一个安全工作区限，除非集成电路电压调整器提供的内部温度保护。

二. 电压调整器的基本选择要求

稳压器选择应注意的问题如下：

(a) 应用部位要求提供较大电流时，应选择功率稳压器，应用部位要求提供基准电压时，应选择基准稳压器；

(b) 应用部位电源对纹波要求较高时，应优先选择线性稳压器，否则，优先选择开关稳压器；

(c) 功率稳压器应优先选择保护功能完善者。稳压器应具备的保护功能包括输出过流保护和芯片过热保护，其中输出过流保护的指标应尽量能达到长时间短路保护；

(d) 开关稳压器尽量不选择具有串联调整管的品种，以防止由于调整管短路使输入电压直接加到输出端而造成输出过压；

(e) 具有内部振荡器的开关稳夺器在某些特殊条件下（例如输入电压偏低和输入电压缓慢上升）其内部振荡器可能停振，这时电路内部功耗增大，有失效危险。因此，具有内部振荡器的开关稳压器应优先选择对这些特殊条件具有保护功能者；

(f) 提供基准电压的应用部位有电压微调要求时，基准稳压器应选择具有输出电压微调功能者。

三. 应用指南

a. 线性稳压器防自激

线性稳压器输入端和输出端对地应接防自激电容器。

线性稳压器输出端对地一般应接电容器，其作用主要为改善负载突变时输出的瞬态响应，也有益于防自激。

以上两种电容器按具体品种的手册规定取值（一般负电源的规定值大于正电源的规定值），它们的等效串联电阻和等效串联电感应足够小，安装位置应尽量靠近稳压器的输入和输出引出端。

b. 布线要求

稳压器的外部连线（特别是接外部调整管的连线）应尽量短，以防止自激。

合理安排输入端所接电容器的接地点，以防止流过此电容器的交流电流在地线上造成的压降耦合到输出端从而使输出纹波电压显著增大。

c. 输出电压负载端采样

对于有专门输出电压采样端的稳压器，在负载与稳压器输出端之间的距离较远同时负载对电源电压的精度要求较高时，可考虑将输出电压采样点移到负载端。

d. 串联调整管反偏保护

稳压器的输入端瞬时短路时，输出端滤波电容器保持的电压将使串联调整反偏，有可能导致失效。为保护串联调整管使之免遭反偏电坟损坏，可在稳压器的输入端与输出端之间接一只当稳压器正常工作时工作于反向偏置状态下的二极管，它将在出现串联调整管反偏时进入正向偏置状态，从而起到限制反偏电压的幅度的作用。

11.5.4.4 时基电路

时基电路的基本功能是产生精确的时延，可用作定时器、压控振荡器等。

时基电路选择与使用时应注意的问题如下：

① 时基电路选择时，先考虑选择数字集成电路（单稳态触发器或计数器）完成同一任务的可行性和合理性。

② 时基电路的固有延时精度（即外接定时用阻容元件之误差前提下的精度）为 1%量级，应用部位对延时精度要求严于此值时，不宜选择时基电路。

③ 对于电源应做一些防护，最重要的是好的电源滤波和旁路。电源线上电压纹波会导致定时精度的损失，从电源系统到地之间加一个电容器是很必要的，电容值应根据特定应用而定，常在 0.01μF~10μF 之间，电容器应尽可能接近器件。

④ 为保证时基电路精度，需要稳定的外部元件。大部分时基电路基本误差是由外部元件不精确引起的。如果要求定时精确，就需用一个可调的定时电阻，与金属膜电阻串联，共同组成 RC 网络部分。

⑤ 定时电容器应是高质量，低泄漏的，陶瓷片电容在任何条件下都不能用在定时器中，可用云母电容器，聚脂电容器，聚笨乙烯电容器和钽电容器等。

⑥ 如果要求定时精度随温度变化很小，就需选用小温度系数的定时元件，电容器最主要特性是低泄露，显而易见，泄漏会减少电荷量，从而导致实际时间比计算时间要长。

⑦ 器件的功耗一定要符合要求，由于有一个很大的定时电容，应该使占空比尽可能大从而使放电晶体管有足够的冷却时间。

11.6 接口微电路的选择与应用

11.6.1 接口微电路概述

接口微电路用作模拟微电路与数字微电路之间或数字微电路与数字微电路之间的接口。

从工艺结构看，接口微电路是数字微电路和模拟微电路组合。

接口微电路包括以下主要类型：

(a) 模/数转换器；

(b) 数/模转换器；

(c) 电平转换器（其中一些品种与某些数字微电路同属一个系列）；

(d) 线电路；

(e) 驱动器。

11.6.2 模/数（A/D）转换器

A/D 转换电路将模拟输入电压信号转换为二进制数码，以使计算机可以数据采集、信号处理、过程控制。

11.6.2.1 A/D 转换类型

A/D 转换的技术主要有逐次逼近法、双斜率积分法、直接转换法（或称并行转换）和Σ-Δ等四种。

11.6.2.2 选择指南

a. 分辨率

第一个也是最主要的因素是必须确定所需转换器的分辨率，它将决定 ADC 可辨认的量化区间的数目。由于所有的 ADC 的基本量化误差都是±1/2LSB，因此必须选择具有足够分辨率的 ADC 才能将“数字化的噪声”降低到可接受的程度。一个实用经验规则是：每一位分辨可降低量化噪声 6dB。

b. 精度

描述 ADC 精度的指标有直流精度（包括线性误差、差分非线性、偏移误差和增益误差）和动态性能（包括信噪比、总谐波失真、无寄生动态范围、小信号带宽和满刻度带宽）。

a 直流精度

- 线性误差：线性误差是代码中点与（转换）直线的偏离。线性误差可以用软修修正。
- 差分非线性：它是实际代码宽度与理想代码宽度（1LSB）之差。宽度见无丢失码分辨率。
- 偏移误差：也称失调误差或零点误差，它是引起第一个码变化的输入（理想情况是 1/2LSB）。
- 增益误差：也称满刻度误差，它是转换曲线斜率的误差。
- 无丢失码分辨率：一个给定的数字输出对一个小范围的信号输入有效，而不是只

对一个点有效，这个范围就是代码的“宽度”。为得于理想的性能。如果一个代码的宽度变窄到使其消失的代码宽度为 1/2LSB~1 1/2LSB 是可接受的性能。如果一个代码的宽度变窄到使其消失的程度，ADC 将不会将那个代码当作一个输出，它将成为一个“丢失的”代码，丢失无丢失码分辨率就是在没有丢失码情况下的分辨率。

b 动态性能

ADC 的动态性能包括信噪比、总谐波失真、无寄生动态范围、小信号带宽和满刻度带宽，这些指标在快速转换下使用。

- 信噪比： 信噪比是指在输出数据中，基本输入频率的均方根（RMS）值与除信号谐波以外的 ACD 的所有其它输出信号的均方根之比。
- 信号与噪声加失真之比：信号与噪声加失真之比是基本输入频率的均方根（RMS）值与除基本输入频率以外的 ADC 的所有其它输出信号的均方根值之比。
- 总谐波失真：是指在输出数据中，输入信号的所有谐波（大于 0 低于采样速度一半的频带器）的均方根之和与基频本身之比。它可表示为：

$$THD = 20\lg\frac{\sqrt{V_2^2+V_3^2+\cdots V_n^2}}{V_1}$$

- 无寄生动态范围：是基波的均方根值与次大的谐和波分量（大于 0 低于通过速率一半的频带内）的幅度之比。

c. 速度

ADC 转换电路将模拟信号转换为数字信号的时间包括多路开关的时延、采样建立时间和 A/D 转换的时间，后者是从模拟信号过入 ADC 到数字从 ADC 输出的通过速率。在选择 ADC 速度时应略微高出所需的速率。

ADC 的数据通过速率有三档，高速 ADC 的数据通过速率在 1Mbps 以上，快速 ADC 的数据通过速率为 10kbps~1Mbps，低速 ADC 的数据通过速率为 100bps 以下。

通常，在视频和高频信号的处理系统中，选用高速 ADC，在直流或低速信号的处理系统，如果要求高精度，可以选用低速 ADC。在大部分应用场合中，选用快速 ADC。

d. 完整性

一个功能完整的 ADC，除了 A/D 转换外，还应包括采样保持电路，基准电压源、转换时钟、多路开关等辅助电路。在选择 ADC 芯片时，应考虑该 ADC 的辅助电路，功能完整的 ADC 可以减小电路板的面积、减小电路的功耗，从而使系统的可靠性提高。但在要求高精度、环境温度变化较大的应用场合，通常不使用片内基准源，所以选择带片内基准源的 ADC 芯片会使成本加大。

e. 输入范围

模拟信号的输入范围。ADC 的模拟信号的输入范围有 0~V_{CC}、0~V_{ref}、V_{CC}~V_{CC}、-V_{ref}~+V_{ref} 等多种，应根据自己的要求选择合适的输入范围的 ADC。

f. 数字接口

ADC 与数字系统的接口主要有串行和并行两种（对积分型还有直接驱动 LCD 或 LED 的接口）。在选择 ADC 时。应根据μP 的 I/O 口数和已有的接口进行权衡选择。一般地说，并行接口的好处在于：

(a) 控制、使用方便

(b) 数据传送速度快

串行接口的优点在于接口线少，使电路的连接减少，因而可节省电路板的空间，并且很容易用光电隔离实现系统的隔离。

串行接口选择时，要注意 ADC 提供的接口标准，通常 ADC 提供与 SPI、QSPE 和 Microware 兼容的接口标准。

g. 电源需求

ADC 的电源需求有 3V，3~5V，5V，±5V，+5V 和-12V~-15V 等多种。在设计时，可以根据系统的电源来选择所需的 ADC，也可以选定 ADC 后再来确定系统的电源。

有些 ADC 的功耗比较低，有些 ADC 还具有省电模式，在些模式下，电源电流可降至μA 级）。在便携、无人值守等场合，可以选用这类 ADC，以使功耗小、发热少、温漂小。

ADC 对电源的要求通常比数字电路要苛刻些，它要求电源稳定、噪声小、电磁干扰小，电源对 ADC 的性能影响不可忽视。

11.6.2.3 ADC 应用要点

一个 ADC 能否达到所希望的功能指标，在很大程度上依赖于电路的设计。在设计中，除了要严格按电路原理图正确连接（如有评估板或推荐的电路连接，最好直接仿制）外，还应注意电路板的设计和制作、基准源的选择、模拟信号的正确接入等问题。

a. 电路板的设计和制作

ADC 的电路板不要使用用线搭接（焊）的电路板，而应使用印制电路板。在设计印制电路板时，应注意印制板的布线、电源和接地。

在印制板布线时，应使数字信号线和模拟信号分开走线，且不要平行走线（特别是时钟信号）。将数字线尽可能远离模拟元件和模拟线。数字信号线也不要在布在 ADC 的芯片下。

印制板的接地也是一个很重要的问题。板上所有的模拟地应星形接至 ADC 芯片的 AGND，且与数字逻辑地分开。ADC 芯片上的数字逻辑地直接接至 AGND，板上的其它数字逻辑地应连至电源地，如图，AGND 与电源地的连接应是低阻抗的且尽可能地短。

V_{DD} 电源的高频噪声可能影响 ADC 中的高速比较器。为此，应在紧靠 ADC 的单点模拟地处接一个 4.7μF 和 0.1μF 的旁路电容，这些电容的引脚应尽量短。

如果电源有比较大的噪声，可如图 11.7.1 接一个 10Ω电阻作为低通滤波器，以滤去电源噪声。

在焊接电路板时，应小心焊接，且在焊完后，将电路板清洗干净。

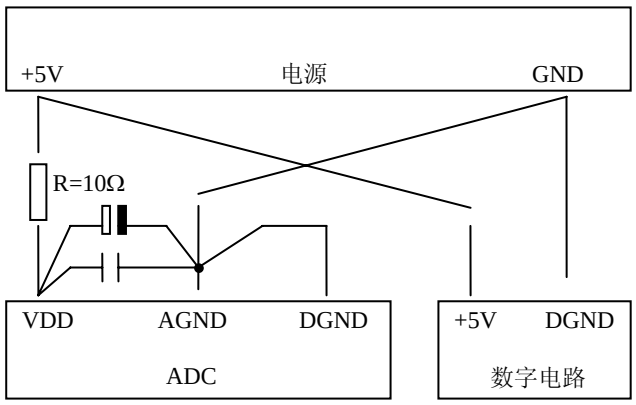


图 11.7.1　印制板的电源和接地

b.　基准源的选择和接入

基准电压源作为 ADC 转换时的基准电压，它直接影响转换的精度。因此，对于高精度的 ADC，一定要选择准确、低噪声、温漂小的基准电压源。在要求高精度和宽工作温度范围的场合，不要使用 ADC 的片内基准源。

为旁路基准电压源噪声，应使用漏电流小的电容作为旁路电容。推荐采用的电容的介质顺序为：聚丙烯电容、聚苯乙烯电容、聚碳酸酯电容、聚酯电容。

c.　模拟信号的接入

加到 ADC 的模拟信号应使用缓冲器以降低电压信号源的阻抗，增强信号源的驱动能力。使用缓冲器还可以使 ADC 更为安全。

如果输入信号比较小，那么应在接入 ADC 前再加一级运算放大器，以使信号落在 ADC 的有效范围内。

d. 采用数字滤波以抑制噪声

为使 ADC 系统有效地抑制噪声，可以选用较高通过速率的 ADC，提高原始通过速率，然后使用多次采样求取平均值（或滑窗等技术），以滤去噪声。

e. 隔离模拟系统

在工业应用中，通常会要求将控制系统与现场隔离，以避免强电干扰或跨越不同系统的地电位差。如果选用串行接口的 ADC，就比较容易也比较便宜地实现这一隔离。

隔离可以采用光隔二极管将接口的三根线（片选或启动模拟转换信号 CS，串行时钟线 SCLK 和数字输入线 DOUT）隔离成两部分，如图 11.7.2。注意，隔离时，ADC 方的电源和地与数字系统使用的+5V 和地必须分别使用两组隔离的电源系统。

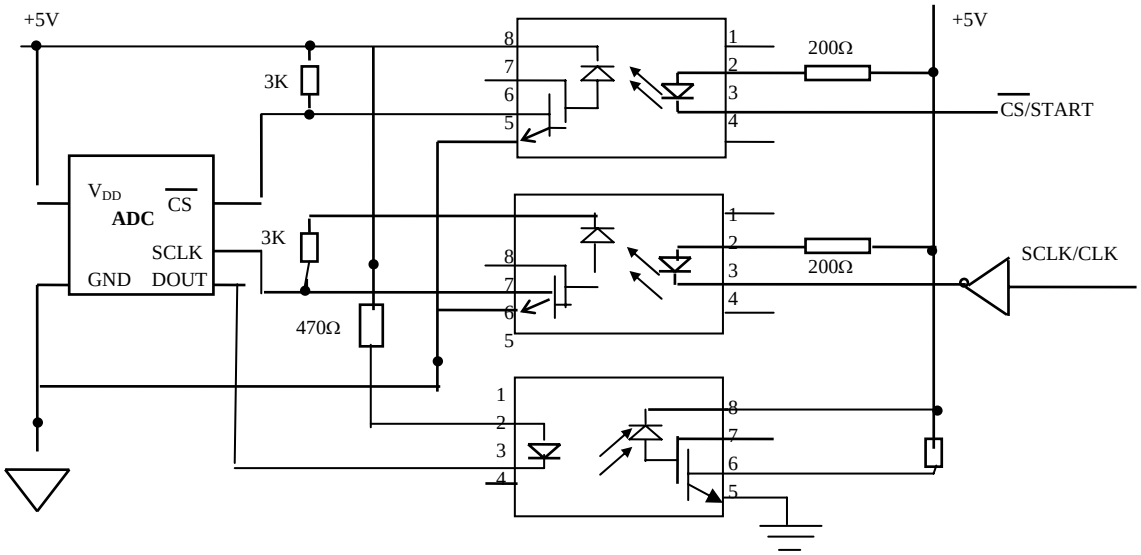


图 11.7.2 光隔接口

11.6.3 数/模（D/A）转换器

D/A 转换电路用来将数字信号（二进制码）转换为模拟信号（电压或电流）。包括 R-2R 电阻网络型和加权电流源两个主要类型。

11.6.3.1 输出类型

a. DAC 有两种输出类型：电流和电压。应根据自己的需要选择。大多数电流型 DAC 接一个缓冲放大器后可转换为电压型输出。

b. 分辨率

选择要素中最主要的是必须确定所需转换器的分辨率，它将决定 DAC 输出的台阶大小。

c. DAC 直流精度

描述 DAC 直流精度有几个参数，其意义如下：

- 线性误差

它是 DAC 的转换曲线与直线的偏离。

- 差分非线性（DHL）

差分非线性衡量任意两个相邻台阶间的误差，或实际输出增量与理想（1LSB）步距之差。差分非线性是不可调整的误差。

- 偏移误差

对应于应该产生零输出的输入代码引起的输出。它以相同的附加量影响所有的码，偏移误差可通过软件修正。

- 增益误差

转换曲线斜率的误差，它以相同的比例影响所有的码。

d. 速度

DAC 的转换速度通常用稳定时间来描述，它指的是从数字信号写入 DAC 至从 DAC 输出稳定的模拟信号所需的时间。

高速 DAC 的稳定时间为 1μs 以内。最快为 0.5ns，它可以 300Mbps 的速度更新。快速的 DAC 的稳定时间为 1~100μs。

e. 完整性

完整的 DAC 应带有内部基准源，它可能节省电路板空间，减少布线，降低功耗电量和提高系统可靠性。

f. 数字接口

DAC 的接口有串行和并行两类，在选择 DAC 时应根据需要选择。

并行接口控制和使用 DAC 文凭，数据传送速度快，但占用大量的 I/O 口，且不易实现隔离。而串行接口由于接口线少，可以使电路的连接减少，可节省 I/O 口和电路板的空间，且易于实现隔离，但写入数据时比较麻烦。

在选择串行接口时，还要注意 DAC 使用的接口标准。

g. 电源

DAC 所需的电源相对地多一些，通常有以下几种：+5V、±5V、+2.7 至±3.6V、+12 至+15V、±12 至±15V、+5V 和-15V、+12~+15V 和-5V。

11.6.3.2 应用指南

影响 DAC 的输出精度的主要因素为：DAC 的基准源、系统接地、DAC 和负载之间的电路等。

a. 基准源的选择和接入

基准电压源作为 DAC 转换的基准电压，它直接影响转换的精度，因此对于高精度系统的 DAC，一定要选择准确、低噪声、温漂小的基准源。DAC 内部基准源的精度和温漂通常满足不了主精度应用场合的需求。

基准电压源的接入通常要求旁路。在使用 V_{DD} 作为基准源的 DAC，或将 V_{DD} 作为基准源的应用（在 8 位 DAC 中通常如此），还应对 V_{DD} 滤波，如图 11.7.3。

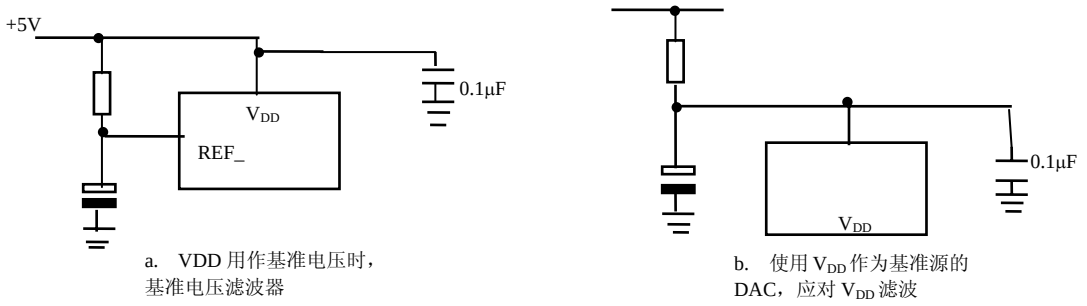


图 11.7.3 基准源的滤波

对高分辨率的 DAC 来说，为获得高的精度，可以采用一个运放来缓冲基准源。运放的闭环输出阻抗应在 0.05Ω以下。

b. 精心设计和制作电路板

使用 DAC 的电路板应精心设计和制作，不要采用线搭接的试验板。在设计电路板时，应注意以下问题：

(a) 电源旁路

V_{DD} 和 V_{SS}（如果有）应加 0.1μF 的旁路电容，还应尽可能性地靠近 V_{DD} 和 GND。

(b) 接地和地线布置

模拟和数字接地面分开可以得到最佳的系统性能，两个接地面应在低阻抗的电源处连接。

DAC 的模拟地应先连在一起，然后连至 DGND，再把此点连至系统的模拟接地面。如果 DGND 接至系统的数字地，那么数字噪声可能通过 DAC 的模拟部分。

注意印制电路板上的地线布置，在 DAC 芯片下面布满面地线，此地线与 AGND 和 DGND 连接，并在 V_{DD}、V_{SS} 和各模拟信号的引脚中间布以细的地线条，如果有不用空脚，也布上地线，如图 11.7.4 这样，可以将输出端、基准源输入端和数字输入端之间的串扰降到最小的程度。

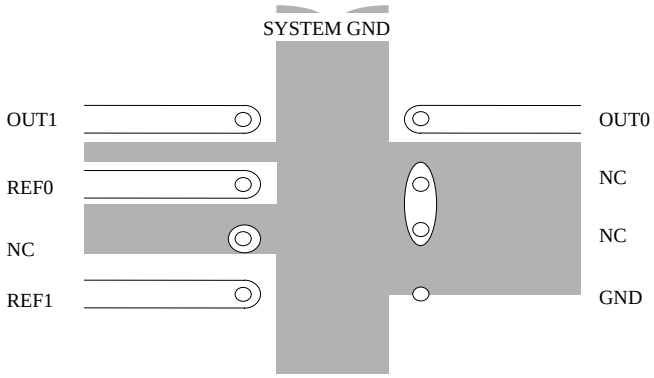


图 11.7.4　推荐的接地的布局

11.6.4 电平转换器

11.6.4.1 选择指南

电平转换器的基本功能是完成逻辑电平不同的数字微电路系列之间的接口。由于数字微电路的主要工艺是 TTL 和 CMOS 两种，电平转换器的主要任务是完成各 TTL 系列和各 CMOS 系列之间的接口。

电平转换器的工艺结构与数字微电路相同。

电平转换器选择应注意的问题如下：

(a) 若驱动的数字微电路属于 CMOS4000 系列，且其电源电压高于 5V，而被驱动的数字微电路属于 TTL 系列，则宜选择 CMOS4000 系列中的电平转换器（例如 CC4049、CC4050）来完成电平转换任务；

(b) 若驱动的数字微电路属于 74HC 系列，而被驱动的数字微电路属于 TTL 系列，则应尽量使 74HC 系列的电源电压取 5V（实际上 74HC 系列的电源电压最高也只有 6V），以实现直接驱动而不需借助于转换器。

11.6.4.2 应用指南

a. 防电源内阻耦合

同 3.3.4 节 a。

b. 防静电

某些 CMOS 工艺的单电源电平转换器（例如 CC4049、CC4050），其内置输入保护网络不如普通的 CMOS 数字电路完善（无上保护二极管），因而抗静电能力较低。对它们应特别注意防静电。

11.6.5 线电路

11.6.5.1 选择指南

线电路的基本功能是完成数字信号的长线传输所需的长线负载驱动和长线信号接收。长线负载驱动要求足够大的输出电流给长线分布电容充电以保证驱动电压仍有陡峭的沿；长线信号接收要求足够好的抗干扰能力。

线电路包括线驱动器、线接收器和线收发器三个二极类型。线驱动器的基本功能是向传输线发送数字信号；线接收器的基本功能是从传输线接收数字信号；线收发器由线驱动器和线接收器组成，前者的输出端与后者的输入端在线收发器内部相连并形成单一引出端，此引出端可根据控制指令成为线驱动器的输出端或线接收器的输入端。

线驱动器有电压输出和电流输出两种基本形式，前者的输出级等效于电压源；后者的输出级等效于电流源。

线接收器有带滞环的单端输入和双端差动输入两种基本形式。

数字信号的长线传输多采用串行方式。串行传输线有单线和双线两种形式。与此相对应，线驱动器有单端输出和双端差动输出两种形式，线接收器有单端输入和双端差动输入两种形式。

传输线有非总线和总线两种形式，前者每一路传输线只能接一个线驱动器，后者每一路传输线可接多个线驱动器（但同一时刻只能有一个线驱动器处于发送状态）。

线电路选择应注意的问题如下：

(a) 线电路的选择应以既定的传输线标准为前提；

(b) 线电路有通用型和专用型（后者只适用于某种特定的传输线标准），优先选择专用型；

(c) 若既定传输线标准属于总线的范畴，优先选择门类“微型计算机和存储器”中类型“外围接口”的总线控制器（它们的集成度高于线电路，有利于小型化）；

(d) 若线驱动器的可选品种中既有电压输出型又有电流输出型，应优先选择后者（因为它没有输出电流尖峰，有利于电磁兼容性）；

(e) 线驱动器的输入逻辑电平应与信号源系统的逻辑电平一致，线接收器的输出逻辑电平应与信号接收系统的逻辑电平一致。

11.6.5.2 应用指南

a. 防电源内阻耦合

对于线接收器，需在每个电路电源引出端的近旁装一只去耦电容器，其容值一般取0.01~0.1μF.

对于线驱动器，由于有大的瞬时的功耗电流，电源去耦电容器的容值一般应不小于0.1μF。它的一端应尽量靠近电源引出端，另一端应尽量靠近地引出端。

b. 传输线的选择与阻抗匹配

在差分平衡系统中，一般选择双绞线作为信号传输线。由于双绞线在长度、方向上完全对称，因而它们所受的外界干扰程度完全相同，干扰信号以共模方式出现。在接收器的输入端由于共模干扰受到抑制，所以能实现信号的可靠传送。

另外，信号在传输线上传送，若遇到阻抗不连续的情况，会出现反射现象，从而影响信号的远距离传送，因而必须采用匹配的方法来消除反射。双绞线（一般要求节距比 D/d ≤10，D 为节距，d 为线外径，见图 11.7.6）的特性阻抗一般在 110~130Ω之间，它与线的绝缘材料的厚度及导线的直径有关，与绞合的松紧程度关系不很大。例如 SBUR 0.12mm^2 导线，每米绞 100 匝时，特性阻抗 123Ω，每米 40 匝时，为 129Ω。通常在传输线末端接 120Ω电阻，进行阻抗匹配，见图 11.7.5。中间收发器接线应尽可能短。

对传输线，不仅要注意它的特性阻抗，还要注意到它对信号的衰减，往往不同型号的双绞线，其特性阻抗相同，但对信号的衰减却不同。尤其在长距离中，导线电阻对信号传输有着不可忽略的影响。具体影响可根据所用传输线每单位长度的电阻值及终端所接匹配电阻的大小进行计算。

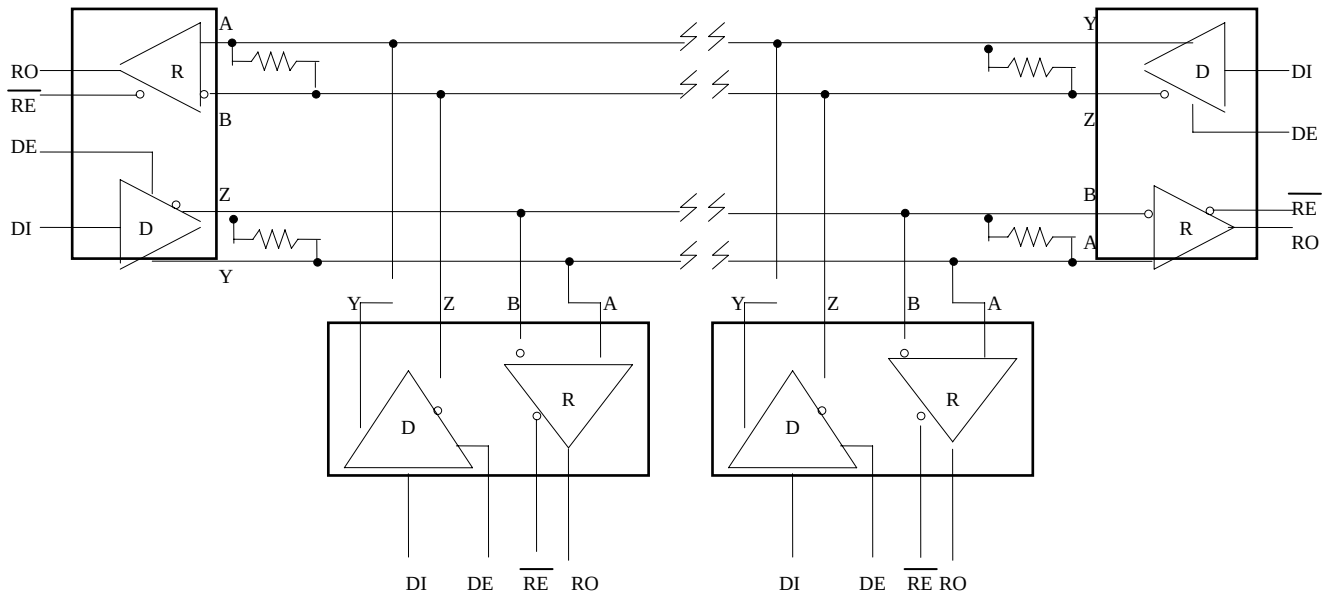


图 11.7.5 全双工通信网

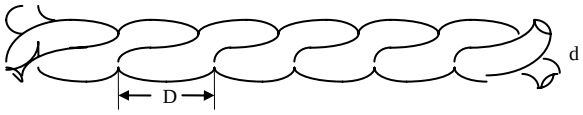
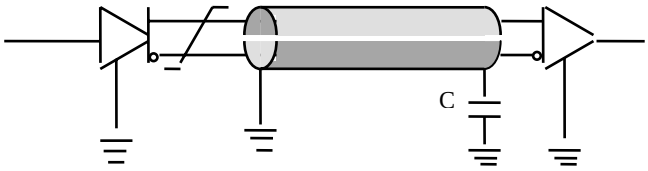


图 11.7.6　双绞线

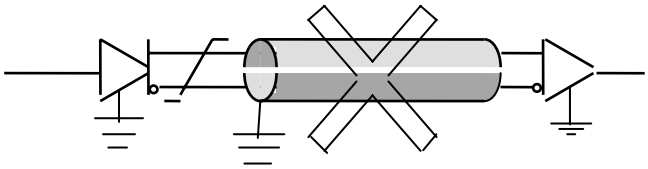
c.　传输线的铺设及屏蔽

在系统安装时，应尽量做到传输线单独铺设，不可与交流输电电缆一起铺设在一条电缆沟中，强信号线和弱信号线应尽量避免平行走向，尽力使二者正交，以使电磁耦合减到最小。因强共模干扰可能坏器件，特别是接收器。若现场走线做不到正交，也可平行布线，但两者的距离应合理。

如果传输线采用带有屏蔽层的双绞线，将屏蔽层良好的接大地，也会得到良好的效果，接地的正确方法如图 11.7.6(a)所示；图 4(b)采用一端接地方法，对高频干扰而言，屏蔽层如同天线，因而不能起有效的屏蔽作用。



(a)　正确的接地法



(b)　不正确的接地法

图 11.7.6　双绞线的屏蔽

d .单线传输时低端传输线设计

单线传输方式下，低端传输线是接地的。此线的设计有两种方式，一是利用原有的线路地（一般为大面积接地带）作为传输线的低端传输线，二是专设一根连线作为低端传输线。

如采用上述后一种方式，低端传输线的接地点又有两种不同的方式，一是两点（始端和末端）接地，二是一点接地。一点接地又有始端接地和末端接地两种方式。具体采用哪一种方式应根据传输线所遵循标准的规定。

11.6.6 驱动器

11.6.6.1 选择指南

驱动器包括以下主要二级类型：

(a) 外围驱动器；

(b) 显示驱动器。

a. 外围驱动器选择

外围驱动器的基本功能是在数字信号的激励下驱动功耗较大的负载。

外围驱动器选择应注意的问题如下：

(a) 尽量选择带输出短路保护的品种；

(b) 应用部位有大电容负载时，应选择输出短路保护有延时响应特性的品种；

(c) 应用部位有电感负载时，应选择带内接箝位二极管（用于反电势箝位）的品种；

(d) 应用部位的负载电流很大且有载工作时间较长时，选择其输出开关器件导通电阻足够小的品种，以防止过热；

(e) 应用部位的工作方式为长时间处于空载加电状态时，选择空载功耗足够小的品种，以减小功耗和提高可靠性。

b. 显示驱动器选择

显示驱动器的基本功能是在数字信号的激励下驱动各种类型的显示器件。

显示驱动器选择应注意的问题如下：

(a) 根据被驱动显示器件的特点（高电压、大电流等）选择显示驱动器；

(b) 特别注意确认待选显示驱动器与被子驱动显示器件的可连接性（国为每种显示器件的被驱动端都有特殊性）。

11.6.6.2 应用指南

a. 防电源内阻耦合

需在每个电路电源引出端的近旁装去耦电容器。负载电压主波形要求陡峭的沿时，去耦电容器应为并联的两只电容器，一只具有足够小的等效串联电阻和物资串联电感，另一只具有足够大的电容量（与负载电流峰值相适应）。负载电压波形不要求陡峭的沿时，去耦电容器可只用具有足够大的电容量的那一只。

b. 显示驱动器防高压放电

显示器件工作电压较高时，应防止高压放电，主要措施如下：

(a) 电位差大的印制板导电带之间应有足够大的间距；

(b) 印制板表面应喷防潮漆。

11.7 微处理器、微控制器与存储器电路的选择与应用

11.7.1 微处理器、微控制器

11.7.1.1 概述

微处理器的基本特征是在一块芯片上集成了 CPU。微控制器（亦称单片微计算机）的基本特征是在一块芯片上集成了 CPU、RAM、ROM 和 I/O 等。

微处理器、微控制器的主要指标是速度和存贮容量，前者包括定点运算速度和浮点运算速度，后者包括随机存贮器和只读存贮器的容量。

11.7.1.2 选择指南

微处理器和微控制器选择应注意的问题如下：

(1) 优先选用 CMOS 工艺制造的品种，以实现低功耗。

(2) 待选微处理器和微控制器的字长和速度应能满足应用系统对速度和精度的综合要求。

(3) 待选微处理器和微控制器的指令集应能满足应用系统的特殊要求（例如通信系统要求丰富的输入、输出指令）。

(4) 待选微处理器和微控制器的中断响应速度应能满足应用系统的要求。

(5) 待选微处理器和微控制器的随机存贮器和只读存贮器的容量应能满足应用系统的要求。

(6) 待选微处理器和微控制器的 I/O 端口的数量和种类应能满足应用系统的要求。

(7) 待选微处理器和微控制器的质量等级应能满足应用系统的要求。

(8) 待选微处理器和微控制器的封装形式、引脚尺寸应与采用的工艺水平相一致。

(9) 待选微处理器和微控制器应有较强的抗瞬态过载能力。

(10) 待选微处理器和微控制器应有较强的抗闩锁能力。

(11) 待选微处理器和微控制器应有较强的抗静电能力。

(12) 待选微处理器和微控制器应有较小的内热阻。

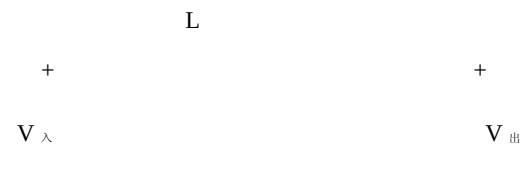
11.7.1.3 应用指南

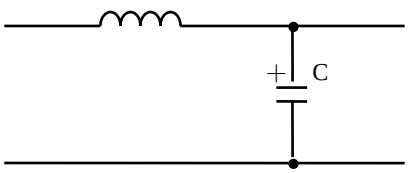
微处理器和微控制器应用应注意的问题如下：

(1) 防电源内阻耦合

每个微处理器和微控制器在电源引出脚的近旁装一只去耦电容器跨接在电源和地之间，电容值一般取 0.1μF，建议选瓷介电容器中的独石电容器。

必要时还需为每个线路板配置一只钽电容器 C，其容量可在 10μF～100μF 之间选取，为了避免电源启动过冲电流增大，另增加一个 10μH 的电感器 L，组成“Γ”形滤波器，如下图所示，





线路板用“Γ”形滤波器

(2) 防布线寄生耦合

防寄生耦合的主要措施之一是正确的地线布线设计，微处理器、微控制器和存储器电路应利用大面积接地带方式，能有效地减小自耦合和较大程度地减小互耦合，还能起屏蔽作用。

(3) 对于 CMOS 工艺的微处理器和微控制器，输入端信号和输出断信号必须满足抗闩锁的要求，瞬态也必须如此。若输入信号电压难于保证在上述范围内，则最好在输入端串接一个 10～100kΩ的限流电阻予以限流保护。负载功耗必须小于额定值。不同封装的 CMOS 电路输出端不得并联使用。在电源 V_{DD}、V_{SS} 端不得串大电阻；还要特别注意防止电源滤波器造成的滞后使得 V_{DD} 瞬时低于 V_i 而损伤器件。

(4) 对 CMOS 工艺的微处理器和微控制器，工作速度不高时优选 5V 电源，与 TTL 兼容，工作速度较高时用 12V 电源，噪声容限较高。

(5) 在器件的传递、贮存、安装、焊接、调试过程中，应采取防静电措施，详见《静电防护要求》

(6) 防瞬态过载

器件常常被持续时间较短的电压瞬变所损坏。

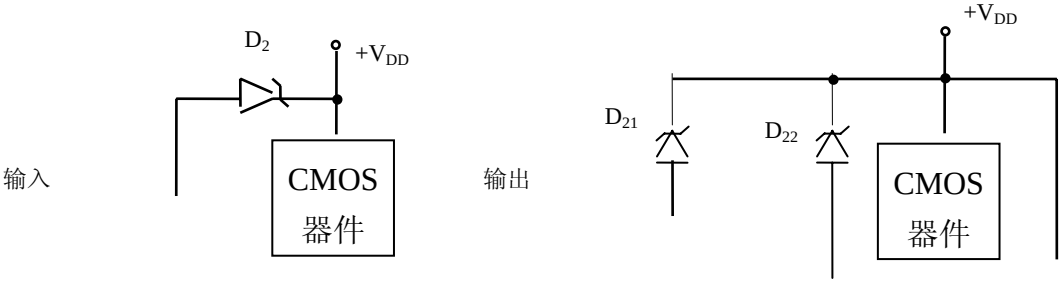
电子线路在断→通、负载转换、电容和电感效应、电源脉冲等情况下会产生电压瞬变，电压瞬变对器件的影响有二种表现：一是使器件永久损坏；另一种是造成瞬态干扰，引起逻辑混乱，进行瞬态过载保护的常用方法有：

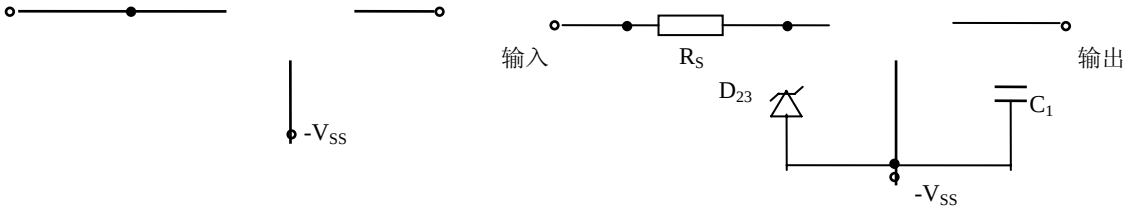
a. 在应受保护的电压线和吸收高频的地线之间加装电容器；

b. 采用二极管或稳压管保护以防止电压超过固定值（钳位值）；

c. 采用串联电阻以限制电流值。

下图是常用的 CMOS 器件的保护电路





常用的 CMOS 器件的保护电路

(7) 输出驱动能力的考虑：

由 CMOS 工艺的微处理器和微控制器驱动 CMOS 器件，因工作速度较高，输入电容将成为主要的负载，CMOS 电路的输入电容一般为 5PF，这个负载电容的充放电速度直接影响信号的传输速度，亦即影响到电路的正确逻辑动作，考虑到这个因素，扇出数一般取 10～20。

(8) 出于扇出能力和功耗的考虑，电路板设计中，应使微处理器和微控制器的输出负载电容设计得愈小愈好，应尽量避免连接过长的、平行的传输线路（即避免长平行线的分布电容），以使器件工作可靠，降低功耗。

11.7.2 存贮器

11.7.2.1 概述

存贮器分随机存贮器（RAM）和只读存贮器（ROM）两个主要类型，随机存贮器包括静态随机存贮器（SRAM）和动态随机存贮器（DRAM），只读存贮器包括可编程只读存贮器（PROM）、可擦除可编程只读存贮器（EPROM）和电可擦可编程只读存贮器（EEPROM）。

11.7.2.2 选择指南

存贮器选择应注意的问题如下：

(1) 优先选用 CMOS 工艺制造的器件，以实现低功耗。

(2) 待选存贮器应有较强的抗瞬态过载能力。

(3) 待选存贮器应有较强的抗闩锁能力。

(4) 待选存贮器应有较强的抗静电能力。

(5) 全陶瓷封装的盖板材料有可能发出射线从而导致存贮器的错误翻转（单粒子翻转），因此存贮器应选择金属盖陶瓷或塑料封装。

(6) 采用多处理器方案，且各处理器需共享数据时，随机存贮器优先选择有多端口的品种。

(7) 待选存贮器的质量等级应能满足应用系统的要求。

(8) 待选存贮器应有较小的内热阻。

11.7.2.3 应用指南

同 11.8.1.3 节。

11.8 混合微电路的选择与应用

一般来讲，混合微电路是把若干个有源器件和若干个无源器件封装在一个陶瓷基片上，它的专用性很强，生产量不大。在混合微电路的选择和应用时，应注意下面几点：

（1）混合微电路中所用的元器件的可靠性水平，要考虑降额使用。

（2）混合微电路的可靠性水平，包括热设计和抗静电设计等。

（3）尽量选择上 QPL 表的产品和上 QML 表的生产厂的产品。

（4）按照单片微电路的应用注意事项来使用混合微电路。

12. 其它元器件选择与应用考虑

12.1 熔断器的选择及应用考虑

12.2 晶体的选择及应用考虑

12.3 指示灯的选择及应用考虑

13. 电子元器件的静电防护

13.1 静电放电（ESD）损伤

半导体器件在制造、存储、运输及装配过程中，由于仪器设备、材料及操作者都很容易因摩擦而产生几千伏的静电电压。当器件与这些带电体接触时，带电体就会通过器件引出腿放电，引起器件失效。

静电放电损伤是电过应力损伤的特殊形式，它的特点是电压高、电荷量小，并且这种损伤是偶然发生的，损伤引起的破坏性带有积累性，当损伤较轻时器件并不会失效，但随着损伤次数的增加，器件就会突然发生失效。

13.2 ESD 损伤的失效模式

（1）双极型数字电路

a. 输入端漏电流增加； b. 参数退化； c. 失去功能。

（2）双极型线性电路

a. 输入失调电压增大； b. 输入失调电流增大；

c. MOS 电容（补偿电容）漏电或短路； d. 失去功能。

（3）MOS 集成电路

a. 输入端漏电流增大； b. 输出端漏电流增大；

c. 静态功耗电流增大； d. 失去功能。

（4）双极型单稳电路和振荡器电路

a. 单稳电路的单稳时间发生变化； b. 振荡器的振荡频率发生变化；

c. R.C 连接端对地出现反向漏电。

13.3 静电放电敏感度（ESDS）

半导体器件的抗静电能力用静电放电敏感度（ESDS）来表示。最容易受到静电放电损伤的集成电路有：CCD、EPROM、微波集成电路、高精度运算放大器、带有 MOS 电容的运算放大器、HC、HCT、LSI、VLSI、精密稳压电路、A/D 和 D/A 电路、普通 MOS 和 CMOS、STTL、LSTTL 等。

详细的静电放电敏感度的分级标准见企业标准《静电防护要求》。

13.4 静电损伤的防护措施

凡是对 ESD 比较敏感的器件，在整个使用过程中都应全面采取严格的防静电损伤措施。其原则是：

a. 尽量防止和减小静电荷的产生；

b. 加速静电荷的泻放，防止静电荷积累。

具体的静电放电防护措施见企业标准《静电防护要求》。

14 热设计指南

14.1 概述

技术的发展使元器件的密度越来越高，因此，温度过高已成为元器件失效和可靠性降低的一个主要原因。有资料介绍，当温度每升高 10℃，可使电容器的寿命下降一倍，使电感器、变压器的寿命下降一倍，使半导体器件的失效率提高一倍。在使底座设备达到必要的性能和可靠性特性方面，热设计已变得与电路设计一样重要。

对于集成电路来说，温度极值（最高值或最低值）会对其产生许多不利的影响，虽然这些影响会随着集成电路的类型、外壳种类、制造方法和器件工艺的不同而有所不同。但下述通用规则可用于大多数集成电路。

14.2 温度对集成电路的影响

（1） 在某些情况下，集成电路在极限温度下将不能正常使用（功率失效），但当使用温度回到“正常”范围内时，功能又恢复正常。

（2） 在另一些情况下，当集成电路处于温度极值下时其功能将失效。最后，档其在更高的温度下时将因为过高热量而烧毁。

（3） 通常，高温会使集成电路的特性发生变化，此外，工作温度的升高还会使漏电流加大，使对噪声的敏感度提高，使平衡电路的不平衡度提高、使“开关尖峰信号”增加或使数字集成电路中的晶体管瞬变电压提高，并使失效率增大。

（4） 集成电路的许多退化及（或）失效机理于温度有关。腐蚀、扩散及很多化学反应是普通的例子。高温会使这些机理的作用加速，因而使元器件的可靠性降低。

（5） 如果使用数据表中规定的电源电压、输入信号、输出负载及环境温度，就不会有超出最高额定结温的危险。但作为最后检查，应将额定热阻乘以器件最大功耗再加上环境温度，如果得出的值小于最高极限值，则集成电路才是安全的。另外，为了保证可靠地工作，必须对系统的环境应力和安装方法进行热应力分析。

（6） 当集成电路在低于其最低温度极限下使用时，该集成电路可能发挥不出其应有的功能。通常，在低温下，对运算放大器和其它线性集成电路来说，增益和功率输出将发生变化；数字集成电路的运行速度将降低，而且其驱动或输出能力也将下降。

（7） 在任何情况下，集成电路都不应在低于额定低温存储温度下使用。作为一个通用准则，低温存储温度极限应比使用温度极限低 10℃～20℃。

热能对电子元器件和电子设备可靠性的影响机理通常可分为两类：热相关现象和热诱发现象。热诱发现象又可以进一步归纳为由静态或动态两种应力引起的。

静态热应力构成的失效机理通常与门限温度有关，超过这个温度就会出现有害影响，状态转化（比如溶化）就是这种现象的一个普通例子。当发生这类失效时，通常把它们看作是由于过应力引起的。热设计师的责任就是确保元器件所承受的温度即使在最恶劣的条件下也决不超过该元器件的最大额定温度。由于有机材料的玻璃态转化温度比较低，它们经常容易受到热过应力的损坏。

与静态热应力有关的另一种普遍的失效机理是由于界面材料的膨胀系数不一致引起的。当由于热膨胀不一致产生的应力超过界面处接合材料的强度时，就会发生失效。这类失效的普通例子有微电路芯片的接合失效、微电路封装的密封失效和印制板上的铜箔剥离。

动态热应力或温度循环会引起失效。失效的快慢决定于温度循环次数及循环的温度范围。当温度变化率比较低时（典型情况），温度循环诱发的缺陷通常归因于材料的加工硬化（由于反复的膨胀/收缩循环）或质量迁移的累积效应。微电路的芯片接合失效是由温度循环的影响引起的，它是净质量迁移的一个典型例子。当温度变化率很高时，失效通常是致命的并呈现为材料的碎裂或破坏。

与温度有关的失效机理例子包括固体扩散和很多化学反应。金属间化合物的形成（例如紫斑）和金属的锈蚀都是这些例子的典型。对于这样的失效机理，热能的影响是随时间累积的，也就是时间、温度的累积函数。

14.3 热设计指南

元器件热可靠性设计的主要内容是减小元器件的发热量，合理地散发元器件的热量，避免热量蓄积和过热，降低元器件的温升。

1．元器件的自然散热

1〕电阻： 一般电阻是通过引出线的传导和本身的对流、辐射来散热。在正常环境温度下，功率小于 1/2W 炭膜电阻，通过传导散去热量占 50％、对流散热占 40％、辐射散热占 10％。因此在装配电阻时，引出线应尽可能短一些，安装位置应使发热量大的面垂直于对流气体的通路，并且要加大与其它元器件的距离。

2〕变压器： 主要依靠传导散热，要求铁芯与支架、支架与固定面都要良好接触，使其热阻最小，变压器外表面应涂无光泽黑漆，以加强辐射散热。

3〕半导体器件： 对功率小于 100mW 的晶体管，一般依靠管壳及引线就可达到散热目的。对大功率晶体管应采用散热器散热。

2．常用的冷却方法

1〕自然冷却： 完全依靠自然对流和辐射进行散热。

2〕强迫空气冷却： 一般采用风扇的形式，与自然冷却相比，它具有几倍的热迁移能力。

3〕冷板式冷却： 以带散热器的气道为特征，这种气道具有强迫气流从装置壁通过的性能。

3．热设计

减少系统热问题的一种方法是尽量减少所产生的热。这通常依靠合理地选择元器件和采用有效的电路设计方法来实现。但是，很多情况下电路设计的优化并不能足以消除所有的热问题，因此，在大多数情况下都要在设备中采取某种冷却方法，以便将热源的热量传递出去，并将其在散热器内消耗掉。多数热设计是以将三种基本方式（辐射、对流、传导）中的一种最优化为基础的。最典型的是将这三种方式进行组合以实现热设计。图 14.1 所示是散热片的热回路。通过使用散热片，提供了一条从元器件到空气的低热阻通路。热从元器件传导到散热片，然后散热片通过对流冷却，空气起到热容器作用。

$$\theta_{\text{元器件－散热器}} + \theta_{\text{散热器－空气}} << \theta_{\text{元器件－空气}}$$

图 14.1　散热片的热回路

下面我们着重说明从热设计的角度进行元器件布置、安装的一些原则、集成电路使用散热片时的一些实践指南、印制板热设计以及机箱设计。

14.3.1　热设计中的元器件的位置和布局

工作温度受设备内部元器件安排的影响，因此，设备的可靠性依赖于元器件的位置和布局。为达到最高的可靠性，安排元器件位置和布局的基本原则如下：

（1）耗能元器件位置尽可能分散。

a. 在强劲空气冷却的单元内，应设法使耗能元器件沿着冷壁均匀散开；

b. 不要使热敏感或高耗能元器件互相紧靠；

c. 不要使热敏感元器件靠近热点；

d. 对于自由对流冷却设备，不要将元器件正好放在高耗能元器件的上方，而应当象图 14.2 那样在水平面内交错安放。

空气流

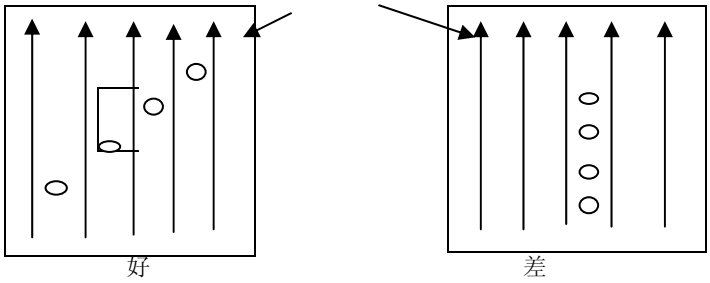


图 14.2 利用自由对流冷却设备时，不要将元器件正好放在高耗能元器件的上方

（2）尽量提高组件的可靠性

为尽量提高组件的可靠性，元器件布局上应使温度敏感器件处于温度最低的区域。

a．对于强迫对流冷却设备，应将温度敏感元器件置于靠近冷却剂入口一边，不太敏感的元器件放在出口一边。

b．对于自由对流冷却设备，应将温度敏感元器件放在底部，其它元器件放在它们上面。

c．对于冷壁冷却的电路插件，应使元器件靠近插件边缘。

14.3.2 元器件安装

在元器件安装方面，热设计的目的是尽量减小外壳与散热器之间的热阻，其特定准则如下：

（1） 为尽量减小传导热阻，应采用短通路。

a．对于冷板冷却设备，只要可能，应当将元器件直接安装到冷板上；

b．应尽量减小元器件连接到模件或冷板上的粘合厚度；

（2） 为尽量减小热阻，应加大安装面积。

a．元器件的安装不要只把引线作为散热片的唯一传导通路；

b．为增大传热面积，应将大功率混合微型电路芯片安装在比芯片面积大的钼片上；

c．为增大传导通路面积，应将自由对流和辐射或撞击冷却的大功率器件安装在散热片上；

d．不要将间隔很小的散热片用于自由对流冷却。应用散热片时，散热片间距不得小于 6mm，散热片的高度不要超过 25mm；

e．尽量增大所有传导通路面积和元器件与散热片撞击的界面。

（3） 为尽量减小传导热阻，应采用热导率高的材料。

a．利用铜和铝等金属构成热传导通路和安装座；

b．对于没有自由对流或自由对流极少的应用场合，应利用导热化合物来填塞热流通路上的所有空隙；

c．对于经过有多层印制电路板组成的模件的热流，应利用电镀孔来减少通过电路板的传导热阻。这些镀铜小孔就是热通路，或称热道；

d．尽量不要利用接触表面之间的界面作为热通路。

（4） 当利用接触界面时，采用下列措施使接触热阻减到最小：

a．尽可能增大接触面积；

b．确保接触表面平滑；

c．利用软接触材料；

d．扭紧所有螺栓以加大接触压力；

e．利用足够的紧固件来保证接触压力均匀；

f．对利用冷壁冷却的插件，不要采用弹簧负载的插件导轨来取得插件导轨与插件边缘之间的接触压力，而是采用比较实在的东西，例如楔形压板或凸轮导轨。

14.3.3 集成电路使用散热片的应用指南

如果集成电路在散热片上，那么从外壳到环境的热阻很大，这样就要要求允许的功耗最小。通常，集成电路在没有散热片工作时的最大功耗为 1 瓦。在大约 1 瓦之后，通过增大外壳尺寸使外壳－－环境空气的热阻与结－－外壳的热阻相当就变得不现实了。因此，有必要散热片帮助集成电路散热。在为某个用途设计散热片时，必须同时知道集成电路和散热片的热阻。商用的鳍形（fin--type）散热片可以用在 TO－5 型的集成电路上。当集成电路是安装在“铁佛龙”（Teflon）插座上时，这种散热片尤为适用。它传导给底座或印刷电路板的热量极小。商用的散热片是由制造商用热阻标称的，其单位为℃/W。例如，当耗散 25W 热量，散热片的温度由 25℃增加到 100℃时，其热阻就是 75/25=3，这将在数据表上用 Q_{SA}＝3℃/W 表示。在其它特性相同时，散热片的热阻越低越好。

下面列举使用散热片时的一些实践指南：

（1） 利用大面积来尽量减小热阻；

（2） 安装元器件，不要仅使通向散热片的传导通路经过引线；

（3） 安装大功率元器件时，应当采用自由对流和辐射冷却或采用与散热片紧密接触的方法进行冷却；

（4） 不要使用小间距的散热片进行自由对流冷却。所使用的散热片间距不小于 6mm，高度不要超过 25mm；

（5） 尽量加大所有传导通路及元器件与散热片之间交界面的面积；

（6） 为了尽量加大电绝缘和尽量减小热阻，应当采用云母，氧化铍或阳极氧化铝绝缘子，其一般的℃/W 额定值分别为 0.4、0.25 和 0.35。应当注意的是：不得将含氧化铍的封装接地、喷沙、机械加工或进行其它操作，否则会产生氧化铍物质或铍尘埃。此外，还不得将氧化铍封装置于酸性物质之中，它们会产生含氧化铍烟尘。制定处理氧化铍的一般安全保护措施时，应当以职业安全与卫生管理局的氧化铍材料程序为依据；

（7） 在垫圈与底座之间使用氧化锌填充硅化合物，以降低热阻。

（8） 在集成电路外壳与散热片之间使用垫圈会给电路引入电容。在一般情况下，电容量很小，对集成电路工作没影响，除非频率高于 100MHz。在这种情况下，在设计中应当考虑电容效应。

14.3.4 印制板热设计

印制板热设计的主要任务是有效地把印制板上的热引导到外部（散热器和大气中）。

（1） 常用覆铜箔层压板主要适用的温度范围

1〕 覆铜箔环氧酚醛玻璃布层压板： 其性能优于酚醛纸质层压板，主要用于工作温度为 100℃以下，工作频率较高的电子设备及其它电器设备中的印制板。

2〕 覆铜箔环氧玻璃布层压板： 具有较好的冲剪、钻孔等机加工性能，工作温度可达 130℃，基板透明度较好，适于制作电子（器）设备中的印制板。

3〕 覆铜箔聚四氟乙烯玻璃布层压板： 具有优良的介电性能和化学稳定性，在 200℃下可长期适用，其介质损耗小，介电常数低，适用于国防尖端产品和高频微波设备中使用，但价格昂贵。

（2） 印制板的载流容量和温升

设计印制板时要保证印制线的载流容量，印制线的宽度必须适于电流的传导，不能引起超过允许的温升和压降，相邻制线的间距也必须符合电气绝缘要求。

（3） 印制板的散热

1〕 选用厚度大的印制线，以利于印制线的导热和自然对流散热。

2〕 减小元器件引线腿与印制线间的热阻，增强元器件引线腿对印制线的热传导。

3〕 当元器件的发热密度超过 0.6W/cm^2 时，单靠元器件引腿及元器件本身不足以充分散热，应采用散热网、汇流条、散热管等措施以增加传导散热。

4〕 若元器件的发热密度非常高，采用上述措施后，还不能充分散热时，则应安装散热器。在元器件和散热材料、散热器之间应涂抹导热膏。

5〕 对安装密度较高，在采用了上述措施还不能充分散热时，就应采用热传导性能好的印制板，如金属基底印制板和陶瓷基底（高铝陶瓷、氧化铍陶瓷、冻石陶瓷等）印制板。

14.3.5 机箱的热设计

机箱热设计的任务是要在保证设备承受外界各种环境、机械应力的前提下，充分保证对流换热、传导、辐射，最大限度地把设备产生的热散发出去。

1〕密封机箱：密封机箱的设备工作时产生的热量要通过与基座的热传导、与周围空气的对流和向空间的辐射来散热。密封机箱自然散热时，散热量决定于机箱表面积。若要求机箱的温升保持在一定的范围内，对给定的机箱表面积，其所能散发的热量是有限的。若超出了限度，就要选择通风机箱或采取强制风冷。

2〕通风机箱： 自然散热的通风机箱主要经由机箱表面散热和自然通风散热两种方式来进行散热。通风机箱的散热受到机箱表面积和通风孔面积的限制。若超出了期限度，就要采取强制风冷方式。

3〕强制风冷通风机箱：强制通风有箱内强制通风和冷板式强制风冷或液冷两种。采用箱内强制通风时，还需考虑的问题是：通风路径的设定、气流的分配和控制、空气出入口障碍物的影响、风机和通风口的距离、通风进出口设计、空气过滤器的采用与否、噪声的抑制及风机振动的影响等。

14.3.6 可靠性热设计检查

在设计人员进行线路设计时或可靠性人员进行设计评审时，主要从以下几个方面进行考虑：

（1） 为了确定元器件或组件工作环境温度，是否进行过详细的热分析。

（2） 为了求出设计的热分布图，是否测试过类似于最后的配置（例如试验性的、试生产的装置）。

（3） 是否用风速计探头测量过冷却气流的图谱。

（4） 设备内部冷却措施是否足以把内部温升限制到 20℃。

（5） 大功率元器件（例如大功率电阻器、二极管、变压器等）是否有散热措施。

（6） 在使用冷水或冷气进行冷却的地方，由于会产生湿气冷凝，是否使用了气密元器件。

（7） 在使用冷水或冷气进行冷却的地方，是否把元器件与湿气冷凝隔离开或采用其它保护措施。

（8） 在使用冷水或冷气进行冷却的地方，是否考虑在设备内采取消除冷凝的措施来防止湿气聚集和可能繁殖霉菌或腐蚀。

（9） 所有印制板是否都涂有保护涂层。

（10）为了保护在要求的工作温度范围内电路稳定，是否在高温和低温极值进行国电路性能试验。

（11）导热表面是否接触良好（无气隙）而且热阻低。

（12）表面镀层和涂层是否具有良好热传导、对流和辐射系数。

（13）用来把元器件固定在印制板或底板上的粘合剂是否具有良好的导热性能。

（14）采用了封装、密封和保护镀层材料的地方是否具有良好的导热性。

（15）是否考虑了连接材料热膨胀系数的不同。

（16）大功率元器件为了更好的散热而不是密封或隔热，是否直接安装到底板上。

（17）元器件与散热器之间接触面积是否保持最大。

（18）热敏感元器件是否远离热气流通道、电源和其它大功率器件。

（19）在热敏感元器件需要避开热流的地方是否有气隙或隔热装置。

（20）是否使用热过载装置来防止由于冷却装置失效引起的危险。

（21）导热管入口处是否有过滤器来防止在组件上聚集灰尘使导热效能降低。

（22）装在印制板上的元器件的导线是否足够长，而且使各导线在热膨胀和收缩过程中减小导线应力。

15　保险丝的正确选择与使用

15.1概述

保险丝作为一个安全元件必须经过有关机构的认证。各国安全认证机构的代号：

澳大利亚	DVE	芬　兰	FI	爱尔兰	IE
瑞　士	SEV	比利时	CEB	法　国	UTE
中　国	CCEE	加拿大	CSA	希　腊	ELOT
日　本	JMI	荷　兰	KEMA	新加坡	SISIR
美　国	UL　、　MET　、ETL　、DS&G				
英　国	BSI	丹　麦	DEMKO	德　国	VDE
挪　威	NEMKO	瑞　典	SEMKO	意大利	IMQ
奥地利	OVE	西班牙	AEE	以色列	SII
韩　国	KAITECH	印　度	BIS	匈牙利	MEEI

- 电子保险丝的主要标准：

  国际电工委员会标准：　IEC 127；IEC127（1～10）

  美国保险商实验室标准：UL 198G

  其它先进标准：DIN 41567；BSI 1362 等

  我国现行标准：GB 9364；GB9364（1～3）；SJ 2955；　SJ 3277。

值得注意的是，IEC 和 UL 标准不相同，因此，IEC 和 UL 保险丝不能够互相替代。

- 强电保险丝的主要标准：

国际电工委员会标准：IEC 269；IEC 269（1～4）；IEC282；IEC282（1～3）

美国保险商实验室标准：UL 248；UL 248（1～16）。

美国保险商实验室标准：UL 198（B～M）

我国现行标准： GB 13539；GB13539－1；GB13539－4；GB/T 9815。

保险丝按应用范围可分为以下几类：

（1）电子类保险丝：此类保险丝又可分为：

ａ.管状保险丝：按管壳材料分有玻璃管壳型和陶瓷管壳型；按分断能力分有低分断能力、中分断能力和高分断能力；按反应动作分有快速动作型和延迟动作型。

ｂ.微型保险丝

ｃ.表面安装保险丝：有快熔断和慢熔断两类。

ｄ.专用保险丝：电子镇流器保险丝、SMT 通讯保险丝等。

（2）汽车保险丝：分为ａ．插片式；ｂ．螺栓式；ｃ．PAL 保险丝；ｄ．玻璃保险丝。

（3）电力类保险丝：分为普通保险丝；延时保险丝；限流保险丝。

延时保险丝用于开机时带有特别过载电流（脉冲电流）的设计。

限流保险丝限制峰值电流小于所用导线能通过的峰值电流。

（4〕 PTC 可恢复保险丝：对过电流起反应，提供保护；过电流消除后，恢复导通。

PTC 可恢复保险丝通常只用于不大于 60V 的低电压范围。

15.2保险丝的选择

（1）额定电流：电路能够长时间工作的最大电流值。

UL 规格： In=Ir/0f

式中 In 为额定电流；Ir 为电路的工作电流；0f 为保险丝的折减率。

IEC 规格： In=Ir

（2）额定电压：

- 对于一般保护电路，保险丝的额定电压应该等于或大于电路电压。
- 对于低电压的电子应用，一个交流额定的保险丝可以用于直流电路中，但如果应用电压高到和配电系统一样时，则不允许使用不同额定值的保险丝
- 关于保险丝的额定电压主要应考虑：当电路电压不超过保险丝额定电压时，保险丝是否有能力分断给出的最大电流。

（3）环境温度

- 环境温度越高，保险丝在工作是越热，其寿命也就越短。

- 不管是 UL 规格还是 IEC 规格，保险丝的各项要求都是指在室温条件下（25℃）。

（4）分断能力

- 在规定的电压下，保险丝能安全地切断的最大电流。当超过额定值时，保险丝会破碎或爆炸。
- 额定分断能力（在 UL 文件里）或短路分断能力将直接关系到保险丝的额定电压。
- 保险丝的分断能力取决于保险丝的结构，低分断能力保险丝大都是玻璃壳体的，高分断能力保险丝通常是陶瓷壳体，其中许多还填充有纯净颗粒状石英材料。
- IEC 127 规定了在交流 250V 条件下的两种分断能力：

  低分断能力保险丝（LBC）必须通过 35A 或 10In 中的大者

  高分断能力保险丝（HBC）必须通过 1500A
- UL 198-G 规格的不同：

  在交流 125V 条件下，保险丝必须能切断 10000A

  在交流 250V 条件下，保险丝必须能切断的电流是：

保险丝的额定电流	额定分断
0 -- 1A	35A
1.1A -- 3.5A	100A
3.6A -- 10A	200A
10.1A -- 15A	750A
15.1A -- 30A	1500A

- 按照常规，当被保护系统是直接联接到电源输入电路和保险丝被置于电源输入部分时，一定要使用高分断能力保险丝。

  在大部分二次电路中，特别是电压低于电源电压时，选用低分断能力保险丝就足以能胜任了。

（5）过载和时间－电流曲线

- 过载是一种过电流，它规定在流过限定电流一段时间后最终保险丝会“断开”。
- UL 和 IEC 对过载均有明确的性能要求。

（6）瞬时电流和脉冲

在大多数情况下，慢熔断保险丝最适用于带有瞬时电流和脉冲的电路保护。