

可靠度技術手冊

零件與材料選用技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十九年十一月二十九日

## 目 錄

1 前言 .....	i
2 零件與材料選用基本概論 .....	i
3 電子零件選用準則 .....	ii
1.1 一般原則 .....	ii
3.2 半導體零件選用準則 .....	iii
3.3 積體電路選用準則 .....	iv
3.4 電阻器與電位器選用準則 .....	v
3.5 電位器選用原則 .....	vi
3.6 電容器選用準則 .....	vii
3.7 電感器選用準則 .....	viii
3.8 繼電器選用準則 .....	ix
3.9 電線電纜選用準則 .....	xi
4 機械零件選用準則 .....	xii
4.1 扣件選用準則 .....	xii
4.2 密封件選用準則 .....	xv
4.3 軸承選用準則 .....	xvi
4.4 潤滑劑選用準則 .....	xvii
5 材料選用準則 .....	xviii
5.1 絕緣材料選用準則 .....	xviii

## 零件與材料選用技術

### 1 前言

基本上，可靠度為產品的重要品質特性之一，也是產品的設計參數之一。在產品壽命週期的整個研發設計過程中，由設計人員努力所建立植入產品中。基於現代產品對可靠度的重視與要求，特別是現代精密的產品，缺乏完善的可靠度設計與分析技術和作業能量，是無法在競爭激烈的市場上佔有一席之地的。為達到此一目標，首先要確定產品的可靠度需求，然後運用各種適切的設計方法與程序，導入各種分析手法，在產品的設計過程中將可靠度需求轉換成各層次的設計特性參數，如此才能事先預防在使用時可能發生的失效現象，達到確保產品可靠度水準的目的，此即所謂「可靠度是設計入產品的」。本章就可靠度的觀點，探討在設計物品時如何考量材料與零件選用等課題。

### 2 零件與材料選用基本概論

近年來，新材料、零件不斷的開發出來，諸如：光纖、鎳、炭纖維素、非結晶物質、大型積體電路、超大型積體電路等，而且進步顯著，大多已經到達實用的地步。加上新的材料結合技術(如熔接、焊接、表面接著等)的發展，以及材料表面處理與塗裝技術(如電鍍、鉻酸鹽皮膜處理、磷酸鹽皮膜處理、塗裝等)的進步，使得更多的材料能應用於機械、電子零件。這些新材料與零件的特色為性能優異、質輕、體積小。不過，由於開發時間短、使用經驗少、規格不齊全、製程管理不完善、未能控制的物理化學效應多，因此失效及可靠度資料欠缺，加上尚未標準化普及化，不同廠商供應的產品品質不一，在設計選用時，必須特別考慮可能的效應。

大多數系統與裝備的硬體失效是以材料、零件(以下簡稱料件)的各種失效模式表現出來，但是探究其損壞原因，並非都是料件本身的缺陷，有不少是因為材料選擇與應用不當所致。例如料件所承受的應力超過其額定值，對料件的失效機制不清楚，或是用於不適當的環境條件等等。

料件失效可以概分為兩類：一類是突發性失效，例如開路、短路、斷裂、破損等；另一類是漸變性失效，又稱為漂移失效，例如特性參數不穩定、超過規格容差等。對於一些可靠度設計不當的裝備而言，後者常是造成功能喪失的主要原因。有時料件的基本功能並未喪失，而是料件的某項參數選用不當，致使裝備在低應力情況下也會發生漂移現象。

在選擇與應用料件時，應注意下列主要基本原則：

- (1). 根據裝備性能參數需求選擇料件，使用條件不得超過料件的性能與環境條件額定值；
- (2). 對所使用零件的種類、型式、規格、型號及製造廠商等進行比較，訂定優選零件清單；
- (3). 儘量選用標準零件、種類愈少愈好，提高零件的重複使用性；

- (4). 除特殊情況外，所有料件均應經過適切的可靠度應力篩選處理，並且向可靠的供應商採購。

裝備所使用的零件愈多，發生失效的機會亦愈高，其介面關係亦愈複雜，難免會產生內部環境的衝突。向可靠的供應商採購，可使進料品質獲得穩定。採購時應注意對零件需求規格依電力、電子、電機與機械零件各種不同的特性，予以適當定義。軍用品採購常用標準軍用規範的做法，對設計者是一大方便。近年來為軍用零件所作的「估計的可靠度規格」已經受到注意，它要求製造商利用延伸的壽命試驗(extended life test)以及統計的結果，評估零件的可靠度水準。

在國防工業體系中，依照軍用規範生產的零件，須作合格驗證試驗。此種試驗包括不同的電性、機械與環境試驗在內，供應商的生產零件經過上述的試驗合格者，才能登錄在合格產品名錄(qualified part list, QPL)上，向名列 QPL 中的供應商採購，是一般軍事用品採購合約的特色。

產品研製專案所使用之零件，均應經過適當的管制與審查，俾透過各種檢試及管制作業，以剷除不符規格之零件，提昇研發及生產產品之可靠度。在專案研製作業過程中，專案管制人員、專案品保人員、可靠度作業人員、系統工程人員應共同依據專案及產品性能之需求，決定零件可靠度管制及審查之範疇，並且確立及規定專案所使用零件的可靠度需求及級別。

可靠度作業人員應針對研製產品之特性，建立零件選用準則、合格零件清單及專案零件選用清單(program part selection list, PPSL)等零件相關文件，以供專案有關設計人員在設計過程之零件選用及零件應用。可靠度作業人員亦應配合可靠度要求，執行零件進料檢驗、應力篩選及失效分析作業等。對非標準化零件之使用，則應配合規定非標準件管制作業規定，由專案及設計人員審核零件之使用需求。對零件之選用特性，如貯存壽限、磨耗、運輸效應等，應由可靠度作業人員加以確認分析，以便施以特別的搬運、包裝、標識及處理。

專案所使用的零件必須在研發及生產過程中，通過零件使用審查，以確保零件等級及來源無誤。當零件選用過程中無法滿足專案需求時，應導出零件可靠度改進計畫，以提昇零件可靠度，此計畫中可包括零件鑑定、零件篩選或其他獎勵措施。可靠度作業單位需按規定執行零件之購案審查，以確保採購零件符合合約及計畫需求。所有不合格之零件均應建立檔案資料，並利用標識加以管制，以防不良品被誤用。

### 3 電子零件選用準則

#### 3.1 一般原則

有關零件購買及使用時之基本尋優原則如下：

- (1). 決定零件以滿足預定功能、環境及可靠度需求；
- (2). 決定零件之重要性：

A. 該零件是否有關鍵性之功能；

- B. 零件壽命長短；
  - C. 購買時間之長短；
  - D. 成本昂貴否？
  - E. 零件可靠度之變動對產品可靠度是否敏感？
  - F. 是否需要鑑定測試？
- (3). 決定零件之可維護度：
- A. 零件是否合於使用標準？
  - B. 合格供應商有無現貨？
  - C. 產品使用壽命，是否都可取得該零件？
  - D. 零件是否有多方來源？
- (4). 決定篩選試驗方法，以改進失效率；
- (5). 準備一份精確的零件採購規範(包括篩選之方式)；
- (6). 分析零件承受之實際應力；
- (7). 運用減額準則，提高零件之可靠度；
- (8). 非標準零件之選用，參考 MIL-STD-749 或 MIL-STD-891。

### 3.2 半導體零件選用準則

半導體零件是電子系統能源轉換的核心零件，它的失效對電路功能影響最大，所以合理選用半導體零件，對符合電路功能需求的保證是非常重要的。半導體零件生產廠家多，各個生產廠的標準不完全一樣，常常出現型式型號相同，但由於廠家不同，零件性能差別很大的情形。所以，選用時必須詳細查閱產品生產廠的產品說明資料。

為了使裝備的設計朝體積小、重量輕、積體化、數位化、高穩定性、高可靠度，符合現代電子產品短小輕薄的發展趨勢，在滿足系統性能需求的條件下，選用半導體零件的一般原則是：應該儘量選用矽半導體零件，而不要選用鍺半導體零件；儘量選用積體電路，而不要選用分立式半導體；儘量選用數位積體電路(依大規模、中規模、小規模的順序優先選用)、不要選用類比積體電路。另外，對於有高可靠度要求的電子系統，應該優先選用金屬、陶瓷或玻璃封裝的密封零件，少用或不用塑膠封裝的半密封零件。

當選用分立式半導體時，應注意下列幾項原則：

- (1). 電壓應力：所有半導體零件均有耐電壓應力的極限值，當工作電壓大於半導體零件的極限電壓值時，將會出現永久性擊穿或瞬間擊穿的現象，前者使半導體零件產生突發性失效，後者可能引起性能參數漂移失效，嚴重時會使電路喪失正常的工作能力。對於三極體，主要考慮  $V_{CE}$  和  $V_{EB}$  值的大小；對於二極體主要考慮反向擊穿電壓，因此二極體承受的最大反向電壓不能超過反向擊穿電壓。
- (2). 電流應力：半導體零件電流的限制包括：A. 半導體零件工作時，必然會產生熱量，在環境溫度和工作電流的綜合作用下，可能使零件內部溫度超過某一數值，而導致零件失效。B. 內部引線及 PN 接面所允許通過的最大電流  $I_{max}$ ，往往因為生產廠家不同而有很大的差異。
- (3). 半導體零件的接面溫度：對於矽半導體零件，接面溫度的計算公式為  $T_j = T_a + \theta_{ja} P$ 。
- (4). 工作頻率：對三極體而言，當工作頻率大於特徵頻率時，三極體便不能工作，當工作頻率遠小於特徵頻率時，電晶體的雜訊係數將增大，其射極電流放大係數會下降。所以在選用時，高頻電晶體與低頻電晶體不能互換。對二極體而言，當工作頻率增高時，檢波(整流)效率會下降，可控矽整流器有是如此。
- (5). 型式互換：分立式半導體主要是依照額定工作電壓、電流、消耗功率、工作頻率及網路參數等參數的次序進行比較。當對不同用途的零件進行互換時，要特別注意一些事項，例如：A. 用大功率電晶體取代小功率電晶體時，雖然有減額的作用、增加安全係數，但是要注意工作點的選擇，若工作點選擇不當，可能使非線性失真增加，結果增益下降、雜訊增大。B. 使用高頻電晶體替代低頻電晶體，結果會增大雜訊係數。C. 用開關零件代替線性零件會發生使輸出波形失真等現象。

### 3.3 積體電路選用準則

積體電路的選用，除上述分立式半導體選用應注意的事項之外，還須考慮下列幾項積體電路特殊的問題：

- (1). 電源電壓應力：此一電壓的額定值與電路內電晶體的耐壓能力有關，超過此一額定值時，積體電路就可能出現電壓過應力擊穿的現象。
- (2). 輸入電壓應力：此一電壓值取決於輸入電晶體 PN 接面的耐壓能力，輸入信號電壓峰值不得大於此一數值。
- (3). 負載電流應力：須考慮輸出端為低電位水準時，允許輸入的最大電流。
- (4). 允許消耗功率：積體電路允許的最大消耗功率是指產品型錄中提供的電源電壓與電流的乘積值。
- (5). 工作環境溫度：一般積體電路的工作環境溫度分為  $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ 、 $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$  及  $-10 \sim +70^{\circ}\text{C}$  等三類。

- (6). 數位積體電路的速度：數位積體電路的工作速度分為中速、高速和超高速等三種。工作速度高的積體電路所消耗的功率比工作速度低者大，因此會增加成本。一般而言，高速電路可以替代低速電路，但是代用電路的成本增加，消耗功率增大，機體內部溫度也會增加，因此在選用時，最好按照系統最高工作速度的要求選用適當的積體電路即可，儘量不要以高代低。

### 3.4 電阻器與電位器選用準則

根據所使用材料的不同，電阻器及電位器可分為合金型(繞線、合金箔)、薄膜型(碳膜、金屬膜)、合成型(合成實蕊、合成薄膜、玻璃釉)三大類，另外按結構及用途還可作其他的分類。

根據使用要求的不同，優選的固定電阻器種類也不相同，當選用固定電阻器時，必須注意下列幾項原則：

- (1). 電阻值穩定性：若電路功能對電阻值穩定性有較高的要求，例如精密衰減器、採樣分壓電路等，則應注意按電阻器的不同負載條件來選用。工作於直流負載時，應繞線電阻器、碳膜電阻器、金屬膜電阻器、金屬氧化膜電阻器、合成膜電阻器、合成實蕊電阻器的順序優選。合成膜電阻器和合成實蕊電阻器系列很少發生開路、短路失效，但電阻值不夠穩定，對有容差設計的不敏感電路，使用此類電阻器可防止電阻器突發性失效所造成的裝備失效。因此，在某些可靠度要求高的電路設計中，常使用這兩種型式的電阻器。金屬化膜電阻器系列在直流負載時會出現逆氧化反應，而且這種反應在濕熱環境中會更加嚴重。當電阻器承受交流負載時，若工作頻率較低，可按繞線電阻器、金屬氧化膜電阻器、金屬膜電阻器、碳膜電阻器、合成膜電阻器及合成實蕊電阻器系列選用。當工作頻率在幾十千赫以上時，要考慮高頻特性。有些電路設計工程人員不管在什麼應用條件，凡是要求穩定性高的電路都選用金屬膜電阻器系列。一般而言，金屬膜電阻器系列薄膜電阻器的漂移為碳膜電阻器系列的三倍。所以，在功率減額應用時，碳膜電阻器系列似乎比金屬膜電阻器系列的漂移失效工低。有一種精密合金箔電阻器，兼具金屬膜和繞線兩種電阻器的優點，電阻值十分穩定，而且有很好的頻率特性，當工作頻率在 5 兆赫以下時，基本是一種純電阻，因此常被用作標準電阻使用。
- (2). 工作頻率：電阻器應用於交流負載時，均應考慮頻率特性。當頻率增高時，由於分佈電容、集膚效應，介質損耗電阻體及引線所導致的電感效應等因素的影響，電阻值將顯著偏離標稱值。繞線電阻器的工作頻率一般不高於 50 kHz，無感繞線電阻器的工作頻率則可高達 1 MHz 以上。
- (3). 負載特性：電阻值對於交、直流負載，均不得大於功率額定值  $P_R$ 。當電阻器使用在環境溫度  $T_a$  大於容許環境溫度  $T_R$  時，使用功率  $P$  與標稱額定功率的關係為： $P = P_R (T_a - T_R) / (T_{max} - T_R)$ ，亦即  $P_R$  應該減額使用。在脈衝功率下，電阻器峰值功率可能平均功率的幾百倍，主要的限制因素有：A. 電壓過高造成層間擊穿；B. 脈衝電流過大超過允許的電流密度。電阻器承受脈衝負載能力的順序為繞線電阻器、碳膜電阻器、金屬膜電阻器、金屬氧化膜電阻器、合成實蕊電阻器、高壓玻璃釉電阻器。因為，在相同功率瓦數的情況下，碳膜電阻器膜

層厚度大於金屬膜電阻器的膜層厚度，所以碳膜電阻器承受脈衝電流的能力比金屬膜電阻器強。

- (4). 電阻值非線性：電阻值非線性又稱為電壓係數，其定義是：在規定的電壓範圍內，電壓每改變 1V，電阻值的平均相對變化。任何電阻器多少都有一些非線性，即電壓係數不為零。只是有的電阻值非線性可忽略，有的較為嚴重。當電壓係數不為零時，各種電壓的電阻值都不同，這種現象在高電壓負載時的影響尤為嚴重。所以高壓負載電阻器必須優選線性好的電阻器。產生非線性的原因，主要是電阻體存在著分散性結構，造成間隙電阻。當電壓大於某一特定值後繼續升高，間隙電阻逐漸下降。當電壓升高時，電阻器整體發熱而產生的電阻值變化與非線性效應不同，前者需要一定的時間才反映出來，後者則是一瞬間的效應。在電阻器製造過程中，若存在內部缺陷，則非線性增大，所以可利用此一特性進行篩選。按線性要求優選的順序為繞線電阻器、金屬化膜電阻器、金屬氧化膜電阻器、碳膜電阻器、高壓玻璃釉電阻器、合成實蕊電阻器及合成膜電阻器。
- (5). 雜訊：對於某些高靈敏度的裝備，雜訊係數是一項重要的指標，特別是裝備的前級電路，各零件的雜訊係數對系統影響最大。前級電路中的電阻器，應依雜訊電位按繞線電阻器、金屬氧化電阻器、碳膜電阻器、高壓玻璃釉電阻器、合成膜電阻器及合成實蕊電阻器的順序選用。另外，還應考慮頻率範圍及其他因素。

### 3.5 電位器選用原則

電位器與固定電阻一樣由合金型、薄膜型及合成型三種型式所構成的。電位器的阻值隨轉角與分壓比的關係不同還可分為直線式、指數式和對數式三種。在可靠度要求高的電路中，應進行容差設計去掉微調電位器，並且儘量使用固定式電阻器代替微調電位器。一般而言，電位器的失效率大都是固定電阻器的 10~100 倍。因此，非萬不得已，在電路中儘量不要用電位器調整。對某些電位器失效會導致嚴重失效的電路應用，應考慮採取相對應的安全保護措施，如開路、短路保護等。當選用電位器時，應注意下列幾項原則：

- (1). 阻值穩定性：由於電位器活動臂的觸點不易完全密封，所以電阻體及觸點的接觸性能易受環境影響。電流太大，接點容易氧化，致使接觸電阻不穩；電流太小，則有可能出現低電位準失效。
- (2). 負載特性：基本上，電位器的負載特性與固定電阻器的相同，但經活動觸點調節後，若電阻值減小，則該電位器的額定功率也將以相同的比值減小。例如，實際使用電阻值為標稱電阻值的二分之一，其額定功率也降為二分之一。因電位器的轉角與電阻值變化是非線性的，單位長度的電阻值並不一致。指數式電位器，電阻變化較平緩部份的耗散功率較小，而電阻值變化較快的部份耗損功率較大。所以，在限流或降壓電路中，應選用直線式電位器較為合理。
- (3). 滑動雜訊：電位器產生滑動雜訊的主要原因是電阻體阻值分佈的不均勻性，轉動系統公差配合不當，接觸刷滑動時接觸電阻的不規則變化及接觸點壓力不同等多項因素引起。為了抑制雜訊，防止裝備因雜訊過大而引起失效，對電位器



電阻體表面應採取護措施，例如覆塗潤滑劑，或提高電阻體表面的光潔度、增加耐磨性。

### 3.6 電容器選用準則

電容器按其介質材料的不同可分為三大類：無機介質、有機介質和電解介質。當選用電容器時，應注意下列幾項原則：

- (1). 適用的頻率範圍：電容器通常多用於交流電路中，所以首先要考慮所選用電容器適用的頻率範圍。電容器由於自身電感(特別是繞線電容器的自身電感)、引線電感的影響都存在一固有諧振頻率。所以，要保持電容器的容抗特性，必須使工作頻率小於諧振頻率，介質頻率特性因素的影響有限制其使用頻率的上下限。否則工作頻率生高電容量會下降。若用於寬頻範圍可採用不同頻率範圍的電容器並聯使用，例如將大電容量的電解電容器與磁質電容器並聯，以適應寬頻帶的範圍。
- (2). 容量的穩定性：除上述工作頻率的影響外，還有溫度及製造工藝方面的影響。由於製造工藝的差別，對於大容量極性電容器應按以下順序選用：固體鉭質電解電容器、液體鉭質電容器、鋁電解電容器。它們的失效率分別比前者大一個數量即左右。庫存時間超過兩年的鋁電解電容器必須以  $1/3VH$  進行二十四小時以上的充電處理，才可使用。液體鉭質電容器的儲存期比鋁電解電容器長，固體鉭質電解電容器最長。極性電容器在長期儲存後所承受電壓的能力均有下降。對長期存放含有極性電容器的裝備，初次加電時間不宜太長，應採取斷續加電或短時間開機工作方式對電容器充電，以防極性電容器損壞。
- (3). 雜訊性能：電容器的漏電將產生雜訊，因此，對於要求低雜訊電路所使用的電容器應選用損耗角正切值小的電容器。電解電容器的雜訊最大，所以，在低雜訊電路的濾波中，使用電解電容器時應該並聯損耗角正切值小的旁通電容，以提高濾波效果。另外，某些有自癒特性的電容器(如金屬化紙質電容器、鉭質電解電容器等)，在自癒之前會出現較長時間的絕緣電阻下降，直到擊穿，同時出現火花寬頻帶干擾。所以，在高靈敏度的脈衝電路中，選用電容器時要小心謹慎。容易出現低電位失效的電容器，如小型塑膠封雲母電容器、聚苯乙烯電容器，在小信號工作時也會引入較大的雜訊，選用時應該特別注意。
- (4). 電壓負載：電容器承受直流負載能力較強，但對於交流和脈衝工作的電壓負載承受能力較弱。不同型式的電容器變化不一，一般而言，承受交流、脈衝負載能力最強的是無機介質的電容器，其次是以有機介質中的高分子聚合物做介質的電容器，最差的是電解電容器。工作頻率不同，所承受的額定工作電壓會有不同程度的下降情形發生。
- (5). 失效率：一般中小容量無極性電容器，聚苯乙烯電容器的失效率約為  $1 \times 10^{-6}$  fr/hr，密封紙質電容器的失效率約為  $5 \times 10^{-6}$  fr/hr，金屬化紙質電容器的失效率約為  $5 \times 10^{-5}$  fr/hr  $\sim 5 \times 10^{-6}$  fr/hr。小容量電容器是指幾個微微法拉到幾千微微法拉範圍的電容器，在選用時應該優先考慮高頻磁質電容器。另外，鐵殼封裝的雲母電容器失效率可高達  $1 \times 10^{-7}$  fr/hr，而塑膠封裝的雲母電容器失效

率為 $1 \times 10^{-4}$  fr/hr  $\sim 1 \times 10^{-5}$  fr/hr，所以對於高可靠度要求的電子裝備不宜選用，主要原因是外殼封裝為半密封狀態，引線端封裝處容易漏氣，加上引線與電極靠壓力接觸，漏氣後接觸點氧化產生具半導體特性的氧化膜，對於外加電壓小於 100mV 的電位準呈開路狀態，當信號電壓提高後才能導通。所以，一般用電錶或電容器測試儀(外加信號電壓一般大於 100mV)很難發現失效，只有用專用的小信號電容測試儀或用三次諧波測試儀，才能分析發現類似假焊或虛焊的失效。電位準太低及漏電擊穿為此類電容器的主要失效模式。作為濾波電路用的電容器，當脈衝電流峰值增大時，將大大增加其失效率。所以，現在有些規定當電容器在執行熱化處理時，電源內電阻要大於或等於 $1\Omega$ ，否則充電電流峰值急劇增大，導致電容器浪湧失效。

### 3.7 電感器選用準則

電感器按其工作頻率不同分為：高頻電感器、低頻電感器兩大類。選用電感器時，應注意下列幾項原則：

- (1). 電感量穩定性：電感的各種骨架、磁蕊材料對電感器的穩定性能影響極大。做為諧振電路使用時，要求電感穩定性好、Q 值高。為達到上述要求，必須注意選擇電感的骨架、導線、磁蕊，並做浸漬熱化處理。對單層線圈，要做加熱至 100 的處理，以便可靠地固定。必要時，可選用陶磁濾波器或聲表面濾波器代之。
- (2). 電感器的頻率特性：任何電感器均有漏電電感及分佈電容，而且至少存在著一個諧振頻率。當工作頻率高於諧振頻率時，電感器呈容抗；當工作頻率低於諧振頻率時，電感器呈感抗。對於骨架與線圈的選擇，當工作頻率高時，選用高頻陶磁、聚四氟乙烯作骨架、鍍銀粗銅線做線圈。工作頻率低時，選擇電木、塑膠材料作骨架、漆包線做線圈。另外，電感器的頻率穩定性與線圈的機械結構牢固性有密切的關係，因此要求線圈之間不會鬆動、引線接點無假焊等。繞線製作完成後必須具備防濕、防鹽霧、防霉菌處理，以減少環境對電感穩定性的影響。
- (3). 電感器的非線性：任何電感器的導磁係數均與通過電感線圈的電流有關。以空氣為介質的電感器線性最好。凡加有磁性材料電感器，當線圈的磁通量大於某一極限值時，都會出現磁飽和現象，這是很嚴重的非線性狀況。對於通過直流信號的電感器和通過大功率信號的電感器應該特別注意，否則將會產生嚴重的失真現象，這對於作為變量器使用的電感器零件而言，還會大大地降低其效率。
- (4). 電感器的負載特性：電感器的負載特性有兩項限制：其一是導線的容許通過電流(一般小於 $2.5 \text{ A/mm}^2$ )，另一項是絕緣電阻。當輸出變壓器為開路時，變壓器會對某一頻率的交流輸入信號產生諧振。諧振時，兩端電壓將會增加 Q 倍，因而擊穿變壓器層，此一現象有時用來當做對某一振動頻率的信號作升壓器使用。另外，環境溫度不同，對線圈絕緣介質的影響有不盡相同。

- (5). 電感器的雜訊：電感器的雜訊主要來自三方面：A.自身損耗產生熱雜訊；B.對外界電磁場的藕合產生電動勢引起的雜訊；C.機械振動引起電感量的變化產生的雜訊。克服第一種雜訊應該選用高 Q 值材料和高電阻藕合電路，採用雜訊匹配設計；第二種雜訊按電磁干擾屏蔽設計予以克服；第三種雜訊可採用適切的機械防振設計方法，再選用適切的灌封材料予以克服。
- (6). 其他：各種電感器，特別是細導線繞線製造成的電感器，其要的失效模式是端頭引線開路。若用細砂紙打磨、小刀刮或用電烙鐵除漆，這些方法都將造成不應有的應力。這些方法都將造成不應有的應力。最佳方法乃是採用去漆劑來除掉絕緣層，可以使其失效率減低 20%。另外，還要特別注意，繞線電感器末端焊線不得有大的機械應力，如此可大大減少電感器的斷線失效。

### 3.8 繼電器選用準則

繼電器按輸入控制信號可分為：直流繼電器、交流繼電器、脈衝繼電器、電壓繼電器、電流繼電器、逆流繼電器、頻率繼電器、功率繼電器、時間繼電器、熱與溫度繼電器、速度繼電器、壓力繼電器、光電繼電器和聲音繼電器等。

選用繼電器時，首先應根據輸入控制信號的要求選用相對應型式的繼電器。如以時間作輸入控制信號時，應選用時間繼電器(吸合延時或釋放延時)。以電壓、電流或功率作輸入控制信號時，應選用電壓電流或功率繼電器。以脈衝信號輸入或有極性要求時，應選用脈衝或極化繼電器。以直流、交流作輸入信號時，應選用直流或交流繼電器等等。

選用繼電器時，應注意下列幾點原則：

#### (1). 接點控制可靠度

對繼電器的接點要求為：接觸電阻小、抗過弧能力強、耐磨性好、壽命長等，為提高繼電器的接點壽命，選用時應注意：

- A. 機械環境對接點的影響：振動、衝擊等機械環境有可能使接點產生誤動作，特別是環境振動頻率與接點自然頻率相近時，危害將更為顯著。例如普通簧片繼電器的自然頻率為 800Hz，小型簧片繼電器的自然頻率為 2500Hz，微型簧片的自然頻率約為 5000Hz 左右。為防止外界振動頻率與自然頻率發生共振，要求外界機械振動頻率至少偏離接點自然頻率一倍以上。
- B. 潮濕環境對接點的影響：繼電器的接點在通斷電的瞬間必然會產生電弧，特別是在潮濕、有害氣體的環境中，會加速接點腐蝕氧化。因氧化物多數具有半導體特性，接點氧化使得接點的接觸電阻增大，接點溫度升高更加速接點氧化，如此惡性循環，最後導致接點失效。
- C. 通斷電作用對接點的影響：接點的通斷電，都不是理想的階梯函數，尤其是接點接通時，因顫抖可能產生多次微秒級的通斷電，這種回跳是一種極不規則的短暫閉合、斷開現象。一個回跳過程可能有一個斷點，也可能有多個斷點，對於高速數位電路在脈衝電路中將發生不正常的動作。因此，選用電磁繼電器

時，要注意防止此一現象的影響。用水銀濕式簧片繼電器不會產生顫抖，可以克服電磁繼電的此一缺點。

- D. 接點的低電水準失效：當繼電器的接點電壓小於 50mV 或接點電流小於 10mA 時，都可能出現低電水準失效，此一失效原理類似雲母電容器。為避免低電水準失效，一般採取將繼電器的多餘接點並聯使用，這樣可去除因某個接點低電水準失效，同時可適當加大接點電流。
- E. 接點壽命：繼電器的接點壽命是指繼電器接點正常吸合、斷開的動作次數。壽命終止的定義是：接點斷開時發生粘結；出現錯誤動作；或閉合時接觸電阻大於規定值等。若合理使用繼電器，可以大大降低其失效率。整機的失效率估算，可按平均每小時動作次數(n)及零件手冊所提供的壽命次數(m)折算為  $h(h=m/n)$  進行估算。

## (2). 負荷特性

接點承受通斷功率的能力，受觸點面積、壓力和材料等因素影響。當瞬間功率大於額定功率時，就會大大加速接點的電腐蝕、融化。不同的負載(電感、電容、純電阻)，其瞬間負載情況不同，應選用不同的減額係數。例如電感性負載應選取 30%，燈負載選取 15%。否則儘管接點的平均功率不大，但因瞬間峰值功率遠遠大於額定功率，會大大縮短接點壽命。

若接點通過的是交流信號或脈衝信號，則要注意分佈電容、電感對所傳輸信號的影響。對於高頻電路一般不選用電磁繼電器，而多選用簧片、水銀繼電器和半導體繼電器等。

## (3). 干擾防護

繼電器在通斷電時，電磁繼電器有火花輻射，即使半導體繼電器也有一定的輻射量產生。所以在使用繼電器時，為防止接點在通斷電時產生的干擾，應該採取必要的防護措施。

## (4). 密封設計

應用於太空及潮濕環境的繼電器應考慮繼電器的密封性能。隨著海拔高度不同，大氣壓力與空氣密度有會不同，大氣壓力降低，繼電器的絕緣電阻與接點的斷流容量隨之降低。一個接點間隙為 3mm、在海平面可以分斷電流為 5000A、電壓為 28V 的銀接點繼電器，在海拔高度為 21000m 處使用，其分斷電流只有 100A。

當環境中的濕度增加時，繼電器的絕緣電阻會下降、機械零件會腐蝕變形。例如鋼製零件在含有 0.1%  $\text{SO}_2$  的乾燥大氣中腐蝕速度非常低，而當相對濕度增加到 70% 時，腐蝕速度會立即上升達 100 倍以上。對在海面上或海岸邊使用的繼電器，還應該考慮鹽霧對繼電器的影響。另外，對密封繼電器端子在焊接時要十分注意焊接溫度和時間，以防端子開裂而造成漏氣。

### 3.9 電線電纜選用準則

根據電線電纜產品的性能特色、結構差異、及產品使用範圍，可將電線電纜分為五大類：(1).裸電線；(2).電磁線；(3).電力電纜；(4).通信電線電纜；(5).電氣裝備用電線電纜。在各大類中，還可分為不同的型式，如按導線面積(或導線直徑)大小，形狀，絕緣結構，蕊數，絞合成纜方式，內外保護層材料或結構，以及容許承受的電壓、電流、工作頻率等的不同，再分成各種不同的規格。

選用電線電纜時應考慮以下幾點：

- (1). 根據工作頻率高低選擇電線電纜：當工作頻率較高時，在組件內的零件之間，連線應該選用電磁線，如粗漆包線或鍍銀銅線，以減少趨膚效應。組件、單機、機櫃之間的連接線應採用同軸電纜，如實蕊聚乙烯絕緣電纜，使用工作頻率可達 2~10GHz；
- (2). 根據信號形式選用電線電纜：對於直流電、低頻率線路不必考慮趨膚效應的影響，主要考慮電壓降。如果是電源線，可按線壓降不大於 0.1V 為原則考慮。若條件許可，最好使用匯流排，其優點是線壓降小，並具有一定的電容可作旁通電容。若傳送的是頻率低於 100 kHz 的脈衝信號，則選用雙線絞線或代狀電纜，其優點是尺寸小、重量輕和柔軟等。
- (3). 根據最高容許長期工作溫度選用電線電纜：電線電纜的最高容許長期工作溫度(簡稱容許溫度)是指保證電線電纜長期可靠使用的工作溫度。若選用較高的電線電纜容許溫度，雖可提高電線電纜的傳輸容量，但溫度提高後絕緣材料的熱老化效應加速，反而縮短電線電纜的使用壽命。目前可以使用於高溫環境的電線電纜有氟 - 46 和聚四氟乙烯絕緣同軸射頻電纜 SFF 等。使用環境溫度大約在  $-46 \sim +250^{\circ}\text{C}$ 。而一般電纜的最高容許長期工作溫度不超過  $+90^{\circ}\text{C}$ ，多數在  $+80^{\circ}\text{C}$  以下。所以在高溫工作的電子裝備，應該優先選用聚四氟乙烯絕緣材料的電線或電纜。
- (4). 根據負載特性選用電線電纜：在大電流使用條件下，應該考慮的重點為導體的截面積；高壓使用條件下，不僅考慮導體截面積，還要考慮電纜絕緣材料的耐壓性能。如一般橡皮、塑膠電纜，其直流工作電壓為 1000 V，交流則不超過 500 V。當直流工作電壓在萬伏以上時，不可選用臘克線，因臘克線在高溫高濕時容易老化，使絕緣電阻下降，容易造成裝備使用時發生高壓擊穿打火現象。矽橡膠電纜雖然耐壓性比較高、耐老化性能好，但容易備老鼠咬，因此，使用時應該注意防鼠問題。對於易受鼠害的地方，應該改用防鼠用高壓電纜。

## 4 機械零件選用準則

常見的機械零件包括：軸承、彈簧、密封件、螺桿、螺帽、扣件、齒輪、轉軸、外殼、支撐架等。雖然機械零件大多已經標準化，不過在應用時，仍然以自行設計為主。因此，必須在應力分析、強度設計過程中就考量機械零組件的可靠度問題，無法像電子零組件一樣，可以將功能設計與可靠度(壽命)設計分開處理。

機械零件的用料、設計及熱處理對零件的可靠度保證相當重要，而且機械零件的失效模式以破損、疲勞等現象居多，在選用時必須考慮這些因素。

機械零件選用的一般原則為：

- (1). 使用適當的材料；
- (2). 進行適當的設計；
- (3). 進行適當的熱處理。

#### 4.1 扣件選用準則

在選用扣件時，必須考慮下述因素：

- (1). 在產品壽命週期內，扣件需要裝拆的頻繁程度。例如：鉚釘只能用於永久性連結。
- (2). 在產品壽命週期內，在規定的外界載台條件下(例如環境有一定的腐蝕作用)，扣件能承受規定的應力。例如：要考慮選用防腐蝕的材料及表面加工工藝等。
- (3). 產品所選用的扣件儘可能使用標準件，其規格品種應儘可能少；使用的數量亦儘可能少。對安裝與拆卸扣件的工具亦然。
- (4). 設計時保證扣件既要便於安裝，對可能需要更換的扣件又要便於更換，因此扣件必須要：結構簡單、使用便捷、而減少維修時間。
- (5). 扣件要有標識等防錯設計考量。

以下就各個問題做較為詳細的論述。

##### (1). 材料選用

扣件材料應能夠防止腐蝕且具有一定的強度，因此：

- A. 扣件應使用有色金屬(防銹)材料。
- B. 如採用黑色金屬作為扣件，則應進行表面防腐蝕處理。
- C. 在高溫環境條件下使用的扣件應該加適當的鍍層，以防燒蝕。
- D. 扣件對結構材料，墊片扣件結構材料之間不能引起電化學腐蝕及損傷。例如：在鎂結構材料上使用鈦製扣件，則會引起電化學腐蝕。
- E. 鋁合金元件結構不能用鋁合金螺釘固定。
- F. 在需要較高強度情況下，使用不銹鋼或銅鎳合金製扣件。

- G. 在要求有較高拉伸強度或剪切強度情況下，不可使用非金屬材料製扣件。

## (2). 標準化

原則上，只有極特殊的應用場合之外，設計所需的扣件應儘量選用既有的標準件。標準扣件選用基本原則說明如下：

- A. 產品所使用的扣件種類、規格應可能少，在一個產品對同一用途(例如安裝作業)儘可能使用一個類型、規格與大小的扣件(例如安裝螺栓)。在同一個產中，使用同一類型、規格的扣件，如果同時使用幾種不同尺寸，則彼此之間的差別應該很明顯，或是在外型上有著顯著的差別，如此可避免混雜而誤用。
- B. 在同一產品中，各種扣件所要求的轉矩應該儘可能限定在少數幾個數值。不同轉矩的扣件應該可以從大小、標識等方面輕易地加以區別。
- C. 原則上，儘可能使用少數幾種工具就可以安裝或拆卸扣件，並且考量人工作業之必要性。目前，許多裝備拆裝扣件多使用利浦十字起子槽的螺釘，這是為了批量生產方便，使用電力馬達或壓縮空氣來驅動旋轉進行螺釘拆裝作業，但在一般維修地點，並不一定配備有這種動力驅動設備。

## (3). 使用簡單方便

- A. 寧可使用少數幾種大型扣件代替很多小型扣件，除了應用於氣體、液體密封者外，單一構造體的扣件儘可能不要超過四個以上。儘可能選用能夠快速裝拆的扣件，例如使用鉸鍊、碰鎖、卡鎖等代替若干小型扣件。特別是通道口蓋板，儘可能使用快速裝拆的扣件。
- B. 從裝拆方便考量，選用扣件的優先次序分別為：快速裝拆扣件、卡鎖、扣鎖、夾持器、螺釘、螺栓、螺母、鉚釘等。
- C. 為方便安裝作業，元件與組件的裝配組合設計採用導銷，可確保對準。扣件的安裝孔位或其他空隙應有足夠的空間，使安裝時容易將扣件插進安裝孔槽中。螺栓與螺母最好只用一隻手或一個工具就可進行安裝作業，例如結構上設計有可容納螺帽或螺栓頭的凹部等，對於裝拆頻繁的扣件更應考慮這種設計。
- D. 為方便維修作業，扣件的設計位置應有足夠的維修進手空間，操作時不會受其他結構的干涉或妨礙，否則若要拆卸其他結構才能進行維修工作的話，將大大減慢維修速度。組件與組件之間的夾緊器，應該設計成最多轉一圈就可夾緊或鬆脫。拆卸螺釘、螺栓或螺母時，應該不要轉超過 10 圈以上。即使是不準備更新的扣件，由使用過程中的磨損或損毀，必要時還是有可能要更換，因此不要把柱螺栓一類的扣件視為結構的一部分，以免進行需要更換時無法處理。應用鉸鍊之類的快速裝拆裝置時，不要用鉚釘固定，應該使用較小的螺釘或螺栓固定。

## (4). 安全設計

扣件的安全設計主要是標識設計，其原則包括：

- A. 維修時要經常裝拆的扣件的顏色應與其背景有明顯的對比色，但其他外部扣件的顏色則應其背景顏色一致。
- B. 特殊的螺栓、螺釘，應該給予特殊的顏色或標識，以確保正確使用，例如左旋螺紋就應該有特殊標識。這些標識應該使用蝕刻或壓印製作，以免長期使用後標識剝落被誤用。

除此之外，尚有一些安全考量因素，例如扣件不得對人員、線路、軟管等造成損傷；螺栓在旋緊後，應至少有兩圈螺紋露出在螺母外面，以確保確實旋緊，但又不能伸出太長。又如螺栓安裝時，應使頭部向上，以避免螺母鬆脫而掉落。為了防止螺釘、螺母、螺栓等掉入裝備中而引起故障，可在其上加裝小鏈子與底座連結。

## (5). 常用標準扣件

除上述基本原則外，常用的標準扣件還要注意一些特定的問題。

- A. 螺釘：螺釘的形狀很多，最好使用平頭或凹型頭，視螺釘頭與表面要不要齊平而定。在不需分解的情況，可使用自攻螺釘。對於需要經常裝拆的蓋板，可使用夾緊螺釘。正方頭螺釘在應用上比圓頭螺釘方便。組合頭螺栓與螺釘的優點為可用螺釘起子或板手迅速裝拆，應該使用六角槽頭，不要使用滾花槽頭，螺釘起子槽應該深一點，以方便安裝作業。對於厚度小於 1/4 cm 的工件，不要使用平頭螺釘，以防止撕裂工件。
- B. 螺母：依組合安裝的結果，螺母有固定式與非固定式兩種，當工件太薄、太軟不能攻螺牙時，或因結構限制進手無法到達螺母部位時，採用固定式螺母設計，亦即利用焊、鉚、卡入、或打入等加工方式，將螺母固定在工件上。固定式螺母以被大量應用在模組化結構設計，其優點為安裝時不必一手拿著螺母，缺點則是當有損壞可能時，更換不方便。至於螺母的形狀，一般應用最好使用六角型螺母。有些應用場合可使用自鎖螺母，利用開口銷、鐵絲、鎖緊墊片等使螺母螺栓緊密結合，防止相對轉動。自鎖螺母的缺點是拆卸不方便，因此適用於只需要很少裝拆的組合情況。
- C. 螺栓：在應用上，螺栓比較可靠，但是其缺點為裝拆不方便，一般設計作為半永久性安裝扣件。為了需要時方便更新，可加上卡簧式墊圈。在需要較大的旋緊力矩的應用場合，儘可能使用六角釘頭。選用自鎖螺栓時，應注意使用溫度不得高於 120 °C。

## 4.2 密封件選用準則

防洩漏是機械設計中的重要課題，高壓液壓裝備需要防漏氣、漏液，電子裝備需要防潮，這些都是與密封有關的問題。密封件的設計應注意下述原則：

- (1). 結合部位的設計必須與密封件設計同時考慮，設計不好的結合部位是很難使用密封件來達到密封要求的，所以結合部位應該特別注意凸緣結構的設計。



- (2). 密封材料應該不會腐蝕結合部位，也不會被密封介質所腐蝕。不同介質對不同密封材料而言，密封效果可能相差很大，選用時應該特別注意。

常用的密封件有緊塞墊和 O 形環兩種，分別說明如下。

### (1). 襯墊

襯墊依所使用材料不同，可分為金屬材料與非金屬材料兩類。金屬襯墊一般只用於高壓高溫情況，除此之外則使用軟木、橡膠、石棉、皮革、合成材料等為材料的非金屬襯墊。如果結合部位無相對運動，則襯墊是相當經濟有效的密封件。襯墊材料的選擇，主要視密封介質而定。例如軟木對空氣、汽油、動物油脂等的阻塞能力良好，但對無機酸、氯氣等的阻塞能力就很差，此外儘可能不要使用在有油脂或潤滑劑的表面會打滑的材料做襯墊。

即使在有壓力變化的條件下，襯墊應與結合面完全貼合。在完全貼合密封可靠的前題下，密封件應該愈薄愈好。

襯墊的外形應儘量簡單，例如圓形、正方形，其斷面外形則以扁平為佳。因為在一般狀況下，襯墊會適應很多變動情況。外形對稱的襯墊應該有標識，標明其正確位置。大型襯墊可以採取分片聯結方式。襯墊上的螺栓孔，應稍微擴成橢圓形，以便利安裝。

### (2). O 形環

O 形環主要用天然或合成橡膠製成的均勻圓斷面環，在受壓力情形下會產生彈性變形，用以密封氣體或液體。O 形環一般安裝在密封槽內，密封槽的表面愈光潔、密封性愈好。在裝配前，先塗以潤滑油脂，在工作過程中，只要有可能還要予以補充，以避免因磨擦而迅速磨損。在暴露的 O 形環結構中設置刮環、刮套等，可用以清除可能進入密封的塵垢。

## 4.3 軸承選用準則

從實際失效數目統計，在使用中的最大失效類型之一為軸承失效。選用不可靠的軸承會大大降低產品的壽命週期，增加維修時間與維修費用。例如，由於選用不合適的微電機，其中的軸承的設計無法補充潤滑劑，原有的潤滑劑使用兩年左右就要乾涸，此一微電機的壽命就不可能超過兩年。但是這種微電機卻又是一部裝備中不可拆卸的部分，於是整個裝備的壽命也就隨之降為兩年。多年實務經驗證明，很多機械裝備的壽命其實是取決於所使用的軸承的壽命，所以對軸承的可靠度應特別加以重視。

一般以發生失效機率為  $\alpha$  % 對應的時間作為軸承的壽命，稱為  $B_\alpha$ 。常用的軸承壽命為 5 % 壽命，稱為  $B_5$ ；但某些要求極高的軸承，例如太空產品某些部位，則取 1 % 壽命，稱為  $B_1$ ；至於要求不太高的民用產品軸承，則可取 10 % 壽命，亦即  $B_{10}$ 。

類似電子零件，每一種規格型號的軸承都有其額定的工作參數，軸承應該減低負荷使用，至於減額係數則視情況而定。

軸承是整個產品中很小的一部分，如果由於軸承本身的壽命不長，從而需要在產品的壽命週期中經常更新，或需要經常加以定期檢查、保養、或維修，例如加潤滑油、調整等，則將需要很多的不工作時間，從而降低產品的有效性，這是很不值得的。為了延長產品的壽命週期，應儘可能減少檢查、維修工作量，最好是不需要在產品的壽命週期內對軸承進行檢查、保養、維修等作業。即使需要在工作一段時間後檢查軸承的性能，檢查也應該能迅速完成，例如便於拆卸、取出內外環。

根據上述原則，最好能選用不需要加潤滑劑與維修的軸承，例如使用合成橡膠、尼龍、特氟龍、特種纖維材料等組成的不加潤滑軸承。由於目前這種軸承的成本還很高，暫時還不能廣泛使用。但某些軸承，由於其使用部位的特點，極不方便進行更新，例如某些儀表軸承，如要更新則往往需要重新調整，則應儘可能使用此類軸承。

其次是使用自潤滑軸承或半潤滑軸承，自潤滑軸承本身內部貯存有潤滑劑，為了防止污染，在軸承的一端或兩端貯存的潤滑劑是密封保存的。用油浸的燒結青銅之類材料製成的軸承屬於半潤滑軸承，一般有防污染的密封裝置。

一般機械產品常用的套筒軸承通常是不可靠的，在工作期間會不斷地磨損，若是沒有任何補償措施，性能會逐步退化。所以最好不要採用這種軸承，非使用不可時，則需在軸承表面提供高壓潤滑。

機械產品中大量使用的滾珠軸承及滾柱軸承，在工作過程中也會不斷磨損，但一般說來，其壽命比套筒軸承長。所以只要該軸承的  $B_{10}$  大於產品的壽命週期，還是可以使用成本較低的滾珠軸承或滾柱軸承。如果滾柱軸承裝配得好、潤滑得當、沒有外界污染，則其壽命就只決定於滾道與滾柱的疲勞壽命，可以使用相當長的時間。不過這種軸承，最好還是設計安裝在能經常補加潤滑劑的密封軸承箱內工作。

新的錐形滾柱軸承，由於可以利用可鎖緊的螺紋零件或楔形墊片來調整，所以最易於維修，但是其缺點就是成本較高。

在使用軸承箱時，為了防止潤滑劑的熱膨脹等造成過大的內壓，情況允許時可加裝安全閥，並帶有油槽回路回收潤滑劑，防止潤滑劑流失。

#### 4.4 潤滑劑選用準則

即使是一部良好的裝備，如果不能及時適當的加注潤滑油、脂，也會很快損壞，大大縮短其使用壽命。在實務應用中，很多發電機、起動機、繼電器、開關軸等的失效，大多是由於潤滑不當所引起的。

潤滑油脂可減少兩個密接相對運動機件間的磨損，傳導排除磨擦產生的熱量，阻擋多餘物質侵入結合面，同時還可以通過添加防腐劑等發揮更大的作用。

為了防止密接的兩個相對運動機件互相直接接觸，潤滑油脂必須形成把兩個機件隔開的一層油膜。油膜形成與保持的能力決定於潤滑油脂的黏度，它隨溫度變化。因此，應用時必須根據工作溫度範圍選擇適切的潤滑劑。一般而言，在工作溫度不太高、轉動速度不太高時，使用潤滑脂；工作溫度超過  $90^{\circ}\text{C}$ 、轉動速度較高時，則使用潤滑油。潤滑劑的工作溫度，最好不要低於  $-55^{\circ}\text{C}$ ，也不要高於  $120^{\circ}\text{C}$ 。

從可靠度方面考量，當然最好是選擇不需要添加潤滑劑的設計。對於需要添加潤滑劑的裝備，最好能裝置加注潤滑劑的中心裝置，以縮短維護時間，以減少由於使用多個加注油嘴導致混入塵垢，減低裝備壽命。當產品工作中會經常受到強烈衝擊或較大振動的情況下，潤滑劑往往會從軸承表面擠出，此時最好在產品內部設置自動潤滑系統。

從標準化的觀點考量，儘可能選用標準的商品潤滑劑，儘可能在一個產品上只選用一種潤滑劑、一種標準的同一規格的注油嘴。注油嘴的數量應儘量減少，儘可能不使用注油脂杯、暴露的注油孔和油杯，因為它們是進入塵垢的來源。使用注油嘴的場合，應一並設置貯油區(杯、槽、繩)，以減少加注頻率。

為便於維護，所有注油嘴應有良好的進手可達性，如無法達到時，則可用油管引到可達部位，以便加注。油路應流暢又不會洩漏，保證潤滑既可達到預定的位置。在正常條件下，不要使用專用漏斗加注潤滑劑。油箱在被污染後或翻修時應能切實徹底清洗乾淨、檢查與修理。油箱內裝設有可拆卸式的貯油槽，用來收集沉澱物。

從安全觀點考量，注油嘴的設計不要凸出，以免不便操作或傷人。加注口應設計得不致被人當作腳踏或當作把手使用。有的裝備需要在運轉中加油，此時應為加油作業設計防護措施，不至讓人手、工具碰上運轉機件。貯油箱、油槽等應離開高溫區或會產生電火花的部位。

產品供應者應提供一份「潤滑一覽表」給維護人員，包括需要潤滑的點或部位、潤滑劑的型號規格、加注時間間隔、及注意事項。

## 5 材料選用準則

過去金屬材料的應用，以鋼鐵為大宗，到目前大致上亦無太大的變化，不過由於單面麻時效鋼、析出硬化鋼等特殊鋼的開發，使得無縫鋼管、蜂巢特殊管用材料及板用材料陸續大量的被採用，其應用範圍相當廣泛，不僅在陸面上使用，還包括超真空的太空裝備，水深萬尺下的潛水艇裝備，以及零下 500 的液態氫超低溫 and 火箭、噴射引擎、核能反應爐等 1500 以上的工作環境。

在金屬材料方面除常用的鋼鐵材料外，鋁合金、鈦合金等應用較少的材料亦不容忽視，選用前最好先作充分的調查，必要時並進行一些基本試驗，然後在選定。

在非金屬材料方面，由於發展進步顯著、種類繁多，因此，在應用時須先探討符合使用目的之需求特性，根據材料製造廠商提供的資料及有關的試驗結果，慎重選出數種可用的材料，然後再就各方面比較考量，選擇最適當的一種。

材料選用的一般原則為：

- (1). 材料特性符合使用目的，
- (2). 加工容易，
- (3). 成本適中。

## 5.1 絕緣材料選用準則

有不少觸電及火災是由於絕緣材料損壞而引起的。一種常見的絕緣損壞原因是絕緣材料老化，過了它的保險年限還被繼續使用。根據實務經驗遇到的絕緣材料損壞事故分析結果顯示，除了老化之外，常見的失效機理包括：

- (1). 選用的絕緣材料的絕緣性能低於要求值，其中有一部份是對絕緣材料未予嚴格的檢驗，使用的絕緣材料實質上是不合格品。
- (2). 選用的絕緣材料不能耐較高的溫度，而裝備的熱設計又有缺陷，此類絕緣材料用在溫升較高的部位。
- (3). 選用的絕緣材料在振動下出現機械損傷，如開裂。
- (4). 選用的絕緣材料的耐溫性不好。
- (5). 由於結構設計及布線設計的缺陷，絕緣材料在較長時間受擠壓後變薄，甚至於劃傷。
- (6). 絕緣材料有先天的劃傷、小孔等缺陷，上機前未予以檢查剔除。

一般說來，選用的絕緣材料應該能夠抗老化、耐高溫、防潮、防霉，並設法採取補救措施，以提高其機械強度。常見的辦法為：

- (1). 選用少含(最好不含)增塑劑的絕緣材料，如此可以延緩老化或不會老化。
- (2). 儘可能選用能耐較高溫度的材料，如矽有機化合物、酚醛塑料等絕緣材料。
- (3). 做好裝備的熱設計，例如持續運轉的電機線圈，使用強迫風冷冷卻方式；有些散熱零組件，按熱設計規範裝上相適切的散熱片等，以防止局部溫度升高。
- (4). 絕緣材料上機前，應嚴格地全面檢查，不容許把有小孔、劃傷、壓傷等的絕緣材料裝上整機。
- (5). 絕緣材料的絕緣性能，必須按規範嚴格驗收。
- (6). 如有可能，線阻和線圈應進行真空浸漬或密封封裝。真空浸漬是將線圈和線阻烘乾後用清漆進行真空浸漬，清漆必須完全覆蓋導線。將浸了清漆的線圈或線阻烘乾，使溶劑蒸發，清漆牢固地附著在線圈或線阻週圍。它可產生導線間的熱脹冷縮的支承作用，又能增加絕緣強度，且對環境振動起一種緩衝作用，還可防潮，一舉數得。用不吸潮的材料填塞，進行密封封裝前應將線圈或線阻烘乾去潮，密封材料應封住所有的空隙。
- (7). 在有污染的環境下工作的裝備，還要考慮到絕緣材料的防腐蝕性等問題，例如在絕緣材料外再塗上一層防潮漆等。根據裝備的特殊使用環境，有時對絕緣材料還有其他附加要求，例如能抗日光持久照射、抗磨損、抗輻射、抗高低溫循環等。沒有一種絕緣材料是萬能的，所以必須依照實際使用狀況進行必要的分析。有時要同時採取數種措施，但當選用了某種絕緣材料之後，必須訂定出其保險期，規定到期就必須予以更新。