

# 航空插头座的 构造原理和维护

中国人民解放军空军航空工程部

PDG

航空插头座的  
构造原理和维护

# 目 录

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| 绪 论 .....                          | ( 1 )   |
| <b>第 一 章 电接触基本原理</b> .....         | ( 5 )   |
| 第一节 压缩电阻 .....                     | ( 5 )   |
| 第二节 膜层电阻 .....                     | ( 9 )   |
| <b>第 二 章 航空插头座的构造原理</b> .....      | ( 14 )  |
| 第一节 接触体 .....                      | ( 16 )  |
| 第二节 壳体 .....                       | ( 33 )  |
| 第三节 绝缘体 .....                      | ( 39 )  |
| <b>第 三 章 各型插头座的结构特点和性能简介</b> ..... | ( 42 )  |
| 第一节 P 型插头座 .....                   | ( 42 )  |
| 第二节 X 型插头座 .....                   | ( 53 )  |
| 第三节 XK 型插头座 .....                  | ( 61 )  |
| 第四节 XC 型插头座 .....                  | ( 65 )  |
| 第五节 XKE 型插头座 .....                 | ( 74 )  |
| 第六节 Y 型和 YB 型仪表插头座 .....           | ( 79 )  |
| 第七节 PJ 型插头座 .....                  | ( 90 )  |
| 第八节 专用插头座 .....                    | ( 95 )  |
| 第九节 一种新型园形多路插头座简介 .....            | ( 140 ) |
| <b>第 四 章 使用与维护</b> .....           | ( 143 ) |
| 附录一 常遇故障及排除方法 .....                | ( 153 ) |

|       |                                       |        |
|-------|---------------------------------------|--------|
| 附录二   | XKE、XL 型插头座对压接的技术要求和<br>检验规则(摘要)..... | (156)》 |
| 附录三   | XC 型插头座对压接的要求 .....                   | (161)》 |
| 附录插图一 | 有性接触体.....                            | (163)》 |
| 附录插图二 | 中性接触体.....                            | (173)》 |

## 绪 论

航空插头座是飞机电气网路中广泛使用的一种电气元件，其主要功能是完成飞机电气网路之间、电气网路和机载用电设备之间以及机载用电设备相互间的电联接。随着飞机性能的提高，用电设备的增多和电气、电子系统的日趋复杂，使航空插头座在飞机上的使用量大大增加，相应而来因插头座失误而导致危及飞行安全和影响战斗训练任务的机率也增加了。据有关资料介绍：在国外，电气失误一般占飞机总失误数的65%左右，而插头座的失误又占其中相当的一部分。在我国，据有关部门对1979年歼六飞机故障的统计，其故障总数为3784项，其中电气失误为2081项占总数的55%，而插头座和导线的失误是1163项占总失误数的30.6%。这就对航空插头座的设计、制造质量和使用维护提出了更高的要求。

为了保证飞行安全和战训任务的遂行，对航空插头座的主要要求是：

一、要有较高的可靠性。因为在飞机上电气、电子设备的使用量逐步增加及系统日趋复杂，导致电缆、插头座的用量剧增。据有关资料介绍：美国F—15飞机电缆长约5—10公里，使用插头座800~1000件；波音747飞机电缆总长度达250公里，插头座用量高达4500件左右。再以国产歼击机为例：单以机上电气网路用插头座量来计算，歼六为172件；歼七为226件；而歼八为260件。从可靠性理论得知，每对接

触体都是串联在电路系统内的，只要一对接触体失效，都直接影响整个系统的可靠性，就可能危及飞行安全和战斗任务的遂行。假若整机电气網路插头座电接触的可靠性为  $R$ ，各接触体的可靠性分别为  $rc_1, rc_2, rc_3 \cdots rc_n$ ，若  $rc_1 = rc_2 = rc_3 \cdots = rc_n = r$ ，则  $R = r^n = (1 - f)^n$ ，其中  $f$  为单个接触体的故障率若取  $10^{-5}$  / 小时。

则歼六电气網路插头座共有1192对接触体，其电接触的可靠性为

$$R = (1 - 10^{-5})^{1192} = 0.98815;$$

歼七电气網路插头座共有1486对接触体，其电接触的可靠性为

$$R = (1 - 10^{-5})^{1486} = 0.98524;$$

歼八电气網路插头座共有2849对接触体，其电接触的可靠性为

$$R = (1 - 10^{-5})^{2849} = 0.97191。$$

如果歼六、歼八用电接触可靠性一样的插头座，因为歼八的接触体多于歼六，那单是电气網路插头座电接触故障的失误，就可使整机的电气網路插头座的电接触可靠性降低0.016。假如要使它不降低或提高，只有提高单个接触体的可靠性。

二、要有稳定而又可靠的电性能。电性能主要指接触电阻值、绝缘性能和抗电强度。这些性能都受产品设计、生产工艺、环境条件、使用时间、插拔次数、正确使用维护等因素的影响。随着计算机技术在飞机上的应用，若为了满足每秒百万次运算的计算机的要求，它不但要接触电阻值小而且还要求在振动、冲击条件下接触体瞬间断电不能大于1微

秒，有的甚至要求瞬间断电不能大于1毫微秒。

还有，随着飞机飞行高度的日益增高，对航空插头座的绝缘性能、耐压等级也有较高的要求。随着海拔高度的增加，空气密度的减少，绝缘材料的抗电强度也要下降。有的材料在5000米以下，每升高100米，抗电强度下降1%；在30000米高空，抗电强度只为地面的十一分之一。因此，航空插头座在制造和使用维护上都要满足高空条件下的性能。

三、要有较高的环境保护性能。我国的气候环境比较复杂。北方地处高原，气温变化剧烈；南方临近海洋多江河湖泊，空气相对湿度大，平均在80%以上，霉雨季节可达93%。另外，雨水充足，每年降雨量在1400~2100毫米。因而易造成插头座进水、生锈及长霉等危害。沿海地区空气中含盐浓度高，使金属零件腐蚀加剧。这些都直接影响到插头座的性能。

由于航空插头座是装在飞机上的，这和一般地面使用的插头座的环境条件大不相同。在夏季，地面可以是+40~+50℃（新疆吐鲁番可达+75℃）高温，而顷刻之间到了高空又下降到-50~-60℃的低温。在发动机部位的温度可高达+150℃左右。如歼六发动机部位最高为180~200℃；歼八发动机部位最高为180~250℃。所以有的插头座有要求可耐高温达260℃的性能。

从插头座安装在飞机上的部位看，除装在密封座舱内条件较好外，其他部位虽有蒙布盖好，但风吹雨打，仍可直接受到雨砂的袭击。战斗值班的飞机则日晒夜露，条件更为恶劣。

所以对航空插头座的环境保护性能要求不同于地面一般

插头座，要在高温、低温、湿热、砂尘、雨淋、盐雾、低气压甚至臭氧和紫外线辐射等环境条件下都应可靠的工作。

四、力求体积小重量轻。体积小重量轻，对现代高速飞机来说是至关重要的，设计师们都把减小产品体积、减小产品重量作为设计的主要指标之一。以歼八飞机为例，该机电气网路共用XK型插头座148件，如将XK型插头座按相应孔组数改装成P型插头座，它将增加净重27.5公斤，占据空间也将增加四分之三。据资料介绍，运输机自重减轻一公斤，每小时可节油64克，加上可以少带油，每小时可节油80克，这样一架运输机在5000小时寿命里就可节油10吨。对于歼击机来说体积小、重量轻更重要的是可以提高飞机的战斗性能。

五、要有好的维修品质。无论什么飞机都要求插头座能快速联接、维护方便、牢固可靠，从而达到飞机的出勤率高和良好率高。一架民航波音747班机全年平均每天至少要飞行八、九个小时，国外有的达十八、九个小时；有的一架歼击机仅七分钟即可再次出动投入战斗。目前，航空插头座的接插方式已由螺纹联接改为卡口式联接或推入式联接，并能自锁以提高联接速度；在导线与插针或插孔的联接上也已采用压接式，当某个接触体发生故障不用分解插头座能快速排除。这些都提高了插头座的维修品质。

综上所述，目前国内外航空插头座的发展总趋势是：要有高的可靠性；有良好的环境保护性能；体积小重量轻和好的维修品质。

# 第一章 电接触基本原理

航空插头座作为飞机上电气网络的联接元件，其电接触性能是它的主要指标。随着科学技术的发展，电气产品接触可靠与否，已被日益重视，并逐步发展为一门很新的边缘科学——电接触科学。电接触科学的发展对电子、电气系统的现代化和良好的可靠性有着密切的关系，对于我们的航空事业也是息息相关。据国外资料介绍，科学家认为近廿五年来电子设备取得成功其很大程度上取决于有着良好的电气联接，而电气联接主要表现在电接触的良好。电接触最基本的概念是当两个导体相互接触时电子从一个导体流向另一个导体，由于导体界面的微观粗糙程度及导体表面复盖着氧化层或电化腐蚀层，电流通过极少数的接触点因而形成接触电阻。从大量实验中发现接触电阻实际上是由三部分组成的：一是清洁的金属面经过施加一定的压力互相接触在一起时形成的电阻，称之为压缩电阻 $R_c$ ；二是金属表面由于吸附气体或氧化、硫化等污染而形成的表面薄膜，称之为膜层电阻（隧道电阻） $R_t$ ；三是金属本身的自体电阻 $R_b$ ，这是个固定值，它与前二者相比是微不足道的，常可忽略。

## 第一节 压缩电阻

两个相同的经过清洁处理的金属圆棒，把棒的一端作成



图1—1

球面，使两个棒的球面相互接触在一起并施加一定压力后如图 1—1，发现接触电阻与所施压力有一定关系如图 1—2。压力越大，电阻越小，当压力大到一定程度时，接触电阻减少得迟缓。从图 1—3 可

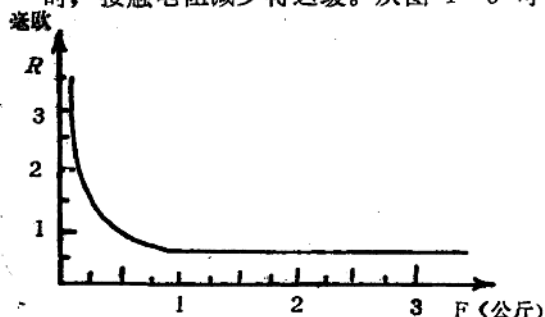


图1—2 接触压力和接触电阻关系

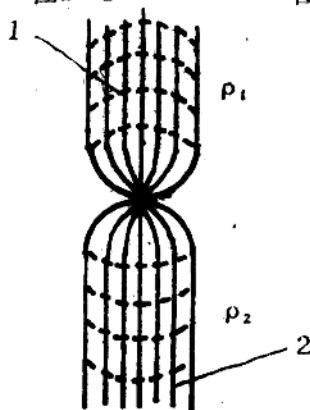


图1—3 电位、电流线图

1. 电位线 2. 电流线

见，在一定压力下，二棒的球面的实际接触只有一个小圆点。在两个接触圆棒的远端接上电源后，电流经过接触小圆点，实际上拥挤压缩在一起，电流线受到挤压使接触处电阻增大，所以称之为压缩电阻。

当圆棒直径  $\phi$  大于小圆点直径的三倍以上时，则以下式来表示：

$$R_c = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2d}$$

式中： $\rho_1, \rho_2$ 为两个金属圆棒的电阻率；

$d$ 为接触处小圆点的直径；

若两个圆棒材料相同，则 $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ ；所以 $R_c = \rho/d$ ；  
即压缩电阻值与接触点的直径成反比。

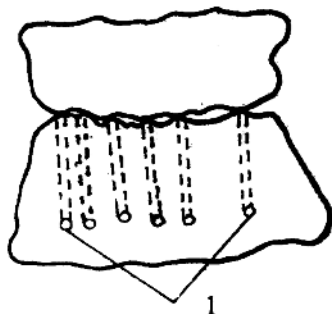


图1—4 1.投影小圆点

由于表面不可能是理想的光滑面，微观看来是高低不平的峰谷相接如图 1—4，因此当两个接触面接触在一起时，接触点不止一个，而是若干个接触点。所以两个接触面间的电触电阻是相当于这些若干接触点的压缩电阻的并联值。假定小圆点的直径大小相同，均为 $d_n$ 。

$$\text{则 } R_c = \rho \sqrt{\frac{\pi}{4An}}$$

式中 $A$ 为等效接触面积 $\left( A = \frac{n \cdot \pi \cdot d_n^2}{4} \right)$ ， $n$ 为接触点数

实际上任何触触物都是加工出来的，它表面的几何形状是错综复杂的，它像图纸中的零件一样，具有形状偏差，这种偏差称之为表面粗糙度，如图 1—5。

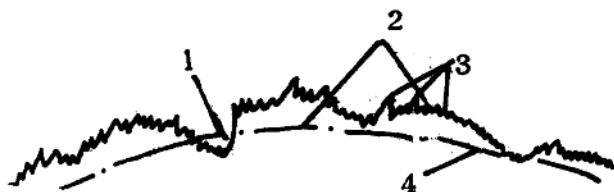


图1—5 加工表面形状

1.宏观粗糙度 2.波纹度 3.微观粗糙度 4.表面的额定曲线

表面粗糙度有三种形式：宏观粗糙度；波纹度；微观粗糙度。它们的定义分别为：

宏观粗糙度：对规定形状不按一定规律重复的表面误差。

波纹度：相对于规定形状上下波动的总和。

微观粗糙度：彼此间距离比波纹度小得多的波纹。

波纹度与微观粗糙度是接触面表现的主要数据。

波纹度是由工具的不均进给所引起的，也可能是由加工振动而造成。在加工痕迹方向的横断面上可明显地发现其波纹度。

微观粗糙度是由于金属表面结晶不同引起的表面粗度，其高是个偶然值。

所以，接触表面上由于有波纹度和微观粗糙度的存在，表面呈现凹凸不平的峰和谷。当两个接触面缓缓地移近时，首先接触在一起的是两个面的最高峰部分，开始施加压力时，接触的高峰呈弹性变形〔此时接触点面积 $A=2.43\left(\frac{FD}{E}\right)^{\frac{2}{3}}$ ，式中E为金属材料弹性模数、D为小圆点直径、F为正压力〕，随着压力的增大，高峰受的压力也随之增大，逐渐呈塑性变形，此时接触面积扩大（ $A=\frac{F}{H_p}$ ，式中F为正压力， $H_p$ 为金属材料的凹印截面硬度），同时较低的峰也相继开始接触，但受压力小，较低的峰之间可能呈现弹性变形。直到外加压力和金属表面的反作用力相等时，此时则呈现一部分峰为塑性变形，一部分峰为弹性变形。综上所述，当两个接触面在一定压力下，不能把全部接触点都看成呈弹性变形接

触，也不能看成都是塑性变形接触。在设计计算时，根据经验按塑性变形接触再引入一个修正系数 $\xi$ ，取0.7，所以由上面公式推导出以下基本公式：

$$R_c = \rho \sqrt{\frac{\xi \pi}{4An}} = \rho \sqrt{\frac{\xi \pi}{\frac{F}{H_p} n}} = \rho \sqrt{\frac{H_p \pi \xi}{4Fn}} = 0.89\rho \sqrt{\frac{H_p \xi}{nF}}$$

式中： $n$ 为接触点数；

$H_p$  为凹印截面硬度（牛顿/米<sup>2</sup>）；

$F$ 为正压力（牛顿）；

$\rho$ 为电阻率。

上式表明了压缩电阻与压力、材料、表面状态的关系。材料硬度愈大，等效接触面积直径愈小，接触电阻愈大；自体电阻率愈大，接触电阻愈大；正压力大可以降低压缩电阻，但大到一定程度后如图1—2，曲线呈平坦，压力增加，压缩电阻几乎不变。但压力大会带来二个缺点：一是会增加金属在接触过程中的磨损，尤其是目前我国生产的航空插头座的插针或插孔表面多数是镀银的，质软易磨损，一旦镀层磨损而露铜，接触电阻将大大增加（原因将在下一节里阐述）；二是会增加插拔力，给使用维护带来不便。因此在设计时需综合利弊，最后选择合适的压力。

## 第二节 膜层电阻

组成接触电阻的另一部分是膜层电阻（隧道电阻） $R_t$ ，膜层电阻对接触电阻的影响很大，测试表明，压缩电阻通常只占接触电阻的14—30%，其余则为膜层电阻。

膜层电阻的形成原理是这样的：当接触物放在空气中，表面很快吸附了分子层的气体（主要是氧气），气体原子与金属原子互相扩散，对于有的金属材料，这种扩散是很快的，如铜大约只有几分钟就可形成一层氧化铜薄膜。金及其合金材料受空气影响很小，一般情况，生成膜层厚度不超过  $25 \text{ \AA}$ （ $\text{\AA}$  为厚度单位，一个  $\text{\AA}$  为  $10^{-10}$  米，称埃），所以它的膜层电阻值小而稳定。各种金属材料表面形成膜层的情况，生成膜层的厚度与时间的关系比较复杂。在室温干燥的空气中放置过的大多数金属表面都存在氧化物膜，但膜层非常薄，不致明显影响金属光泽。如铜和铝上很快生成厚度为  $20 \sim 40 \text{ \AA}$  的氧化膜。但在升高温度和增加湿度的情况下，生成速度加快与厚度增加，金属上膜的厚度可达  $400 \text{ \AA}$  以上。它使金属表面变暗，这种现象通称为“失泽作用”。而当两接触物是在相互有压力的接触下时，接触部位的膜层生成速度与厚度还和加在两接触物的正压力有关，正压力大，不易生成；正压力小，易生成。

这种氧化物或硫化物，按其本身性质来说，电阻率是很大的，它复盖在接触表面上将很难使电流通过。但由于复盖层很薄，金属不断扩散，因此实际上复盖层是渗杂浓度很高的半导体。从半导体理论“隧道效应”中得知，当两个接触面加上电压后，通过半导体的“隧道”而导电。实验表明，电流与接触电压呈线性关系，即通过“隧道”导电的电阻基本上是常数，但该电阻值随着膜层厚度增加而增加得很快。膜层电阻  $R_t$  的近似公式为  $R_t = \rho_t / A$ ，由此可知，膜层电阻与该接触点的面积成反比。

因此，膜层电阻值随着膜层厚度的增加而增加，而膜层

厚度又与金属材料、时间、温度、湿度以及有害气体的浓度有关，在两个接触面相互接触部位的膜层还与加在接触面上的正压力有关，所以实际上膜层电阻不是一个固定值，这也是造成接触电阻不稳定的原因之一。

另外，当膜层在外力作用下可以机械刮破，因为硫化银、氧化银的硬度都是很低的，易被刮破，刮破后两接触物的接触几乎只有压缩电阻的存在，此时接触电阻就降低，但随着时间的增加，温度和湿度的提高，有害气体的污染，在机械刮破的地方，仍将生成新的膜层，又将增加接触电阻值，我们称对膜层的这种机械刮破为机械击穿。如在外场维护中遇到晃动插头或拔出插头重新插入后接触情况得到改善，就是基于这一原因。

另一种情况是当膜层上的电场强度超过膜层所能承受的强度时，膜层将被破坏，我们称之为电击穿，此时接触电阻也迅速下降。在电击穿的部位，则因通道很窄，局部发热，在击穿处很快续继生成膜层，将击穿的膜层“修复”（比机械击穿重新生成膜层要快得多），这时的电阻比第一次电阻值小得多。若再增加电流，接触电压仍会升高，但随即又被击穿，电阻又下降，接触电压也随之下降，续继生成膜层；若再增加电流，电压达到一定限度（低于第一次被击穿电压），再被击穿。从电压电流关系图 1—6 上看，电压、电流形成锯齿状。第一次击穿前的电阻与多次击穿后的电阻值相差很大，这是造成接触电阻值不稳定的另一个原因。如外场飞机长期停放后，一开始通电发生似通非通的现象，（特别是弱信号小电流电路），而工作一段时间又好了，就是基于这个原因。

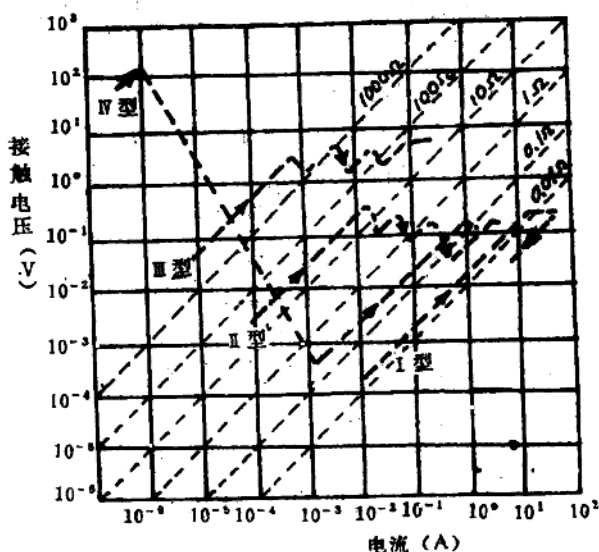


图1—6 电压电流关系

图1—6中I型线是金及其合金的,很少生成膜层,阻值低,其电压电流关系呈线性,但镀金价格昂贵,所以在弱信号、小电流的电路中的插头座中使用。II型线,是银及银合金的,这类金属暴露于恶劣环境中一段时间,膜层厚度较厚时,电击穿现象将要反映出来。但银价格比金便宜得多,所以在要求不是十分严格处仍普遍采用。IV型线是铜、镍、黄铜、铝金属等的,这类金属生成较厚和硬度较大的膜层,需要较大的机械力才能刮破,所需击穿电压也很高,有时可高

达 100 伏，击穿前后的电阻值相差很大，在航空插头座上用得很少。这也是插针（孔）当镀银层被磨损而露铜时，将增加接触不良故障发生的原因。