

# 晶体管断腿因素的剖析

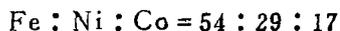
许昌继电器工艺研究所 周 涛

## 一 引 言

晶体管断腿多见于晶体硅三极管。任何三极管的断腿均会导致静态继电器的失效、会严重影响和威胁静态继电器产品的质量和发展。多年来，这一问题已被行业所重视，并也曾进行过许多研究和探讨，使断腿问题一度得以缓和，但未彻底根治，特别是近年来又时有发生。随着静态继电器品种和数量的发展，很有必要对晶体管断腿因素进行全面的进一步的工艺剖析，以便采取相应措施进行根治。

## 二 引线结构因素

为什么断腿多见于晶体硅三极管，并且多见于江南和两广地区，这和硅三极管引线自身的构造有着重要的关系。在硅三极管的生产制造中，为了保证其结构特性，它的引出线要与底座的玻璃绝缘芯柱密封良好，引出线所用的材料需要与玻璃有相近似的膨胀系数，故大多数生产厂引线材料采用可伐丝，也有采用杜美丝和镍丝的。常见的硅三极管引线材料大多数是可伐丝。可伐丝的组成成份是铁镍钴合金：

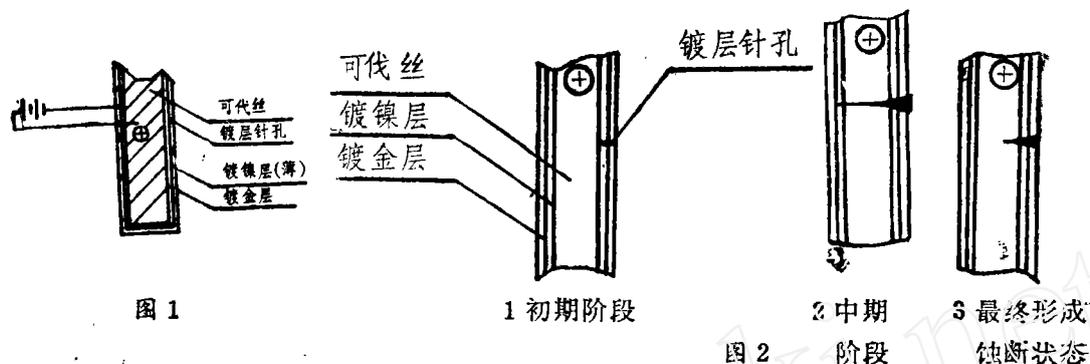


其化学成份的任何变化都能满足与玻璃膨胀系数接近，有较高居里点和良好的低温组织稳定性，能被玻璃很好浸润。大部分生产厂的出厂工艺是：

可伐丝 → 电镀镍 → 化学镀金

由于可伐丝引线一般采用化学镀金，其镀层极薄（考虑经济价值，一般为2~4微米左右），镀金层<3微米时，镀层孔隙较大，金属晶格较松散，一般起不到保护作用，当大气中湿度加大时，就会产生大气腐蚀。对于可伐丝来说，金的电位很高，金镀层属于阴极防护，故使可伐丝产生阳极腐蚀，比可伐丝没有金镀层情况时腐蚀更为严重。

图1是硅三极管引线的剖面示意和形成金属电池的原理图。当处于潮湿环境时，空气中的水分及其它杂质在镀金层的针孔处凝聚，成为电解液，形成金属电池。电位高的金镀层为阴极，电位低的可伐丝为阳极，产生电解作用使可伐丝这一阳极金属遭受腐蚀，变成氧化物或硫化物穿过镀金层的针孔迁移外露，这就是人们所见到的有些硅管引线上的斑点状锈蚀物。这一腐蚀逐步向纵深进行，加上引线本身不可避免存在着的内应力，而使腐蚀进一步加深，直至可伐丝引线完全断裂。图2表示了腐蚀的过程，如果环境中存有腐蚀性气体，则会使这一过程更为加剧。



这种镀金层内部的可伐丝阳极腐蚀就是断腿多见于硅三极管、并且多见于江南和两广等潮湿地区的内在因素。为了解决这一因素的影响，我们曾在生产工艺上采取了一些相应措施，如搪锡前刮除镀金层。但这需要繁重的劳力代价、还需要操作者的细心配合，要彻底刮除确是件不容易的事情。国外晶体管元件引线不镀金而镀锡铅合金，故不需要上述措施。近年来，国内已有部分生产厂改变了过去不合理的工艺，多为下述两种工艺：

可伐丝→电镀镍→电镀锡铅合金；  
或 可伐丝→电镀镍→电镀锡铈合金。

既然国内已有这样引线的晶体管元件，静态继电器上使用的硅三极管应予以控制，只许用镀锡铅合金（或锡铈合金）引线不许使用镀金层引线的三极管，这不仅能使断腿的内在因素得以消除，还可以使操作者从繁重的刮腿工艺中解脱出来。

### 三 元件制造因素

有些晶体管断腿和元件厂的制造因素有关。我厂81年曾发现了大连××厂的3 DG 7 C和3 DG 27B晶体管在未装焊之前便出现了断腿现象。我们立即对库存的该批元件进行了25倍的宏观观察和250倍金相微观分析，确认了该批管子断腿是属于元件厂的制造问题。

在元件制造中，除电化学腐蚀外，还有下列因素能导致断腿：

#### 1. 可伐丝贮存时间过长。

可伐丝的贮存时间不宜过长，由于温湿的变化，存放的时间越长，表面锈蚀就越严重，特别是硬态丝残余应力很大，蚀断更为严重。某厂曾对存放时间进行了对比试验，可伐丝存放超过一年后，断腿率开始上升，存放三、四年后，断腿呈数量级增加。在元件制造厂，存放的时间不超过半年为好。

#### 2. 可伐丝受热次数过多

没有任何可腐蚀的镀金可伐丝当受到150~500℃各种热循环后，随受热次数和温度的增加，腐蚀倾向明显增大，故应尽量减少可伐丝引线在生产工序中受热的次数和受热

温度。

### 3. 根部制造质量问题

管腿根部是断腿率极高的部位，这与元件制造时酸洗抛光过程中腐蚀严重、镀复困难、残余应力较大、弯月面玻璃碎裂等有关。有些管子的集电极引线折弯后直接点焊在底盘上，再用银—铜焊料加固，该部位的残余应力很大，机械损伤严重，促使焊料沿可伐晶界的浸入，因而该管的集电极断腿率较高。

### 4. 纸包装的影响

从国内出现的成批断腿事例来看，许多与纸合包装有关，其断裂位置一般都在距根部2~3 mm左右，即与纸合的芯板接触部位，此处有肉眼可见的锈斑，原因是由于有的低芯存有生产过程中的化学残留物（例如漂白过程S的残留物），在温湿度变化时易吸湿变潮，给带有孔隙镀金可伐丝引线的电化学腐蚀造成适宜的环境。故在不了解纸是否存有化学残留物并未采取相应措施（浸蜡）时，宜采用不含氯的塑料包装。长期贮存，最好采用真空包装或气相包装。

## 四 装配因素

在静态继电器的装配生产中，仍然存在许多导致晶体管断腿的因素：

### 1. 强腐蚀熔剂的影响

各种类型的熔剂引起的腐蚀程度有所不同，强腐蚀性熔剂可以造成可伐丝引线灾难性的腐蚀断裂。如工艺上已禁用的焊锡膏，酸性不易清洗干净，有吸湿性，还会产生氯离子，使腐蚀加速。葛州坝电厂使用的静态继电器曾发生过的3DG8D晶体管断腿便是由于装配生产中操作者违反工艺私自使用焊锡膏造成的。

### 2. 清洗不干净的影响

洁净的可伐丝引线表面是十分重要的，装配工序中需要有效的清洗，任何酸液、镀液、熔剂等离子型污染和非离子型污染都可能成为腐蚀的根源。不能认为中性熔剂不会产生腐蚀后患。国外某公司曾对十三种商品松香熔剂的PH值和卤化物含量进行了测定，并以交货和沸腾后两种状态涂于有预刻痕、并有一定弯曲变形的可伐丝引线上进行试验，发现绝大部分熔剂都能引起引线的应力腐蚀开裂，而且一旦沸腾，腐蚀作用更强烈。有一种交货状态熔剂，其卤化物含量虽低达0.0011%，但仍可起始和扩展足以使引线断裂的应力腐蚀裂纹。我们也曾几次对一种活性较强的熔剂进行试验，用其对可伐丝引线搪锡，并按工艺进行及时的清洗，再进行潮热及通电试验，均未发现腐蚀情况，见表1。这就表明了清洗工艺的重要性。

另外，还应避免用手直接接触引线的外表面，单个指印里存有30 $\mu$ g的氯化钠，国外某公司曾对洁净的和手摸过的可伐丝引线做过对比试验，后者出现了应力腐蚀开裂。故接触引线时应戴薄纱手套。

### 3. 弯曲造成划伤

不应使可伐丝引线随意弯曲变形或造成划伤。经估算，可伐丝引线自由端微小的位

表1

序号	试验元件	数量	试样条件	试验方法	结果
1	3DG7C	6	YH—250焊剂 没刮腿、清洗	温度40°C 湿度95%  通电流10mA 11周期	无断腿
2	3DG8D	6	YH—250焊剂 没刮腿、没清洗		无断腿
3		6	水扬酸焊剂 没刮腿、清洗		无断腿
4		6	水扬酸焊剂 没刮腿、没清洗		无断腿
5		6	强腐蚀焊剂 没刮腿、清洗		无断腿
6		6	强腐蚀焊剂 没刮腿、没清洗		断3只

移，其根部受应力及弯曲变形时引线表面的残余应力，其数值之大是相当惊人的，弯曲变形还会有应变马氏体出现，这种组织对腐蚀断裂影响很大。玻璃弯同面破裂和引线锐角弯曲会造成表面破裂，故弯曲应注意不应超过工艺规定的距根部的最小距离。在需要弯曲变形时，应采用适当的工具、工装或专用设备，并且应检查这种变形对密封和引线表面有否损伤。还要避免插拔和金属器械的操作对镀层的划伤。弯曲时应一次成形，不能因一次整形不好再进行第二次整形，这样会损伤引线。在装配过程中，应尽量避免对管帽部分的扭动。最好在产品设计时，就考虑好其焊装位置，使其焊装孔尽可能与元件引线伸出尺寸相仿，不需要进行引线弯腿便可以安装。

#### 4. 套管等隐患

可伐丝引线外套塑料套管是造成现场断腿的一大隐患。套管两端极易吸附绒尘等污染物和凝聚水珠，并由于毛细管作用而渗入套管内部，渗入后还不易挥发，成为电化学腐蚀的温床。套管在装配过程中还易流入熔剂等污染物，并不易被清洗干净，则危险更大，故工艺上早已规定引线不应加装套管。

另外单面印制板小孔不金属化也属于同样的隐患，其孔内易凝聚水珠和残存熔剂等污染物，造成电化学腐蚀。

#### 5. 振动的影响

装配中应避免导致引线谐振疲劳断裂的隐患。据振动和碰撞试验表明，下列情况均有引线断腿情况发生。

(1) 安装时引线过长，振动时元件根部受力过大，焊接后再弯曲造成机械损伤(见图3)。

(2) 管垫安装时没贴紧, 不符合工艺要求, 未起到减振作用, 相反增加负荷, 致使引线振断, 振断位置通常在引线根部和与焊点交界处。

(3) 选用的管垫结构设计刚性不足, 支撑部位太细太长, 不能真正起到支撑固定和减振的作用, 后果与管垫安装时没贴紧相同, 宜选用刚性好的管垫(见图4)。

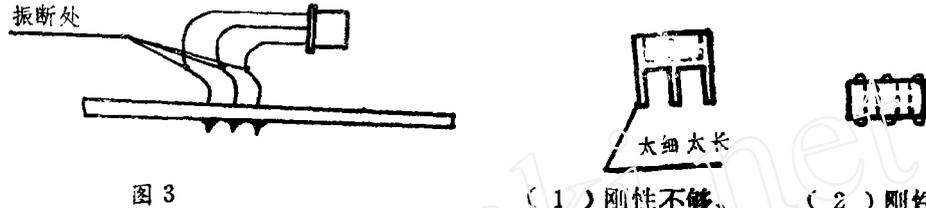
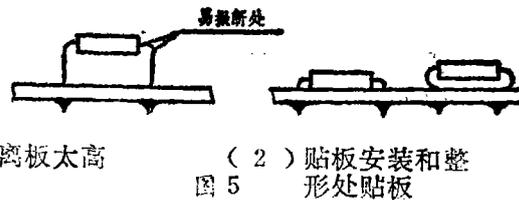


图3

(1) 刚性不够, 不宜选用 (2) 刚性好, 宜选用 图4

(4) 卧式元件安装时离板太高, 应尽量贴板安装或整形后的整形处贴板安装, 使其尽可能地降低离板高度(见图5)。



(1) 离板太高

(2) 贴板安装和整形处贴板 图5

## 五 管理因素

在静态继电器的生产中, 管理造成引线断腿的因素一般不被人们注意和重视, 但却是不应忽视的部分。

### 1. 手工业作坊的生产管理方式

由于国内的静态继电器生产还在起步的阶段, 品种多、批量少, 人们习惯于传统的手工业作坊的生产方式来管理生产。落后的手工业作坊的生产管理是晶体管断腿诸因素能够赖以生存的温床。一台静态继电器的所有工序由一人全部承担, 产品的质量及工艺的实施是得不到保证的, 先进的工艺设备和工装也是难以使用的。后果是产品质量因人而异、甚至因时而异。只有依照静态继电器的生产特点和需要, 采取先进的生产工艺和按明确严格的工序流程进行生产管理和工艺管理, 才能使断腿的诸因素的控制得以实施, 才能根治因人而异的断腿状况。

### 2. 质量与产量的关系

质量与产量的关系, 宏观上人们一般不会摆错, 但在具体的生产中却不是每个人都能摆平的, 这样便会诱发断腿因素的失控, 因而需要有真正相应的措施, 才能使控制断腿因素的工艺措施得以保证。

### 3. 贮存管理

生产中出现的断腿情况有些是属于贮存管理问题。过去的装配生产中曾发现过3A

(下转57页)

$$U_{32ZJ} = \frac{R_2 // R_{32ZJ}}{(R_2 // R_{32ZJ} + R_3)} \cdot U_{33ZJ2}$$

式中:

$R_{FLJ}$ —FLJ线圈直流电阻

$R_{33ZJ}$ —33ZJ线圈直流电阻

$R_{32ZJ}$ —32ZJ线圈直流电阻

$U_-$ —直流电源电压

将 $U_- = 220V$ ;  $R_{FLJ} = 0.175k$ ;

$R_{32ZJ} = 2k$ ;  $R_{33ZJ} = 13k$ ;  $R_1 = 12k$ ;

$R_2 = 10k$ ;  $R_3 = 2k$ 代入上面三式, 可得出:

$U_{33ZJ1} = 74.55V$ ,  $U_{33ZJ2} = 41.85$ ;

$U_{32ZJ} = 19.02V$ 。

可以看出, 当33ZJ返回电压小于41.85V时, 无论故障发生在哪两相, 保护都 将要拒动。

由于28LJ接于C相, 当AB相发生故障时, 33ZJ返回电压小于74.55V就会发生拒动。

若32ZJ动作电压小于19.02V, 当发生BC或CA相故障时, 保护也将拒动。

当然, 采取调整33ZJ返回电压及32ZJ动作电压或串联降压电阻的办法, 可以防止保护拒动, 但没有完全消除33ZJ及32ZJ线圈剩余电压, 依然存在拒动的可能。采用图2所示的改进措施, 在原回路中加装一只隔离二极管D和一个电阻R, 便可将其线圈上的剩余电压彻底消除, 保护不拒动。二极管D的型号为Z85K, 电阻R可选用15W、10K的线绕电阻。

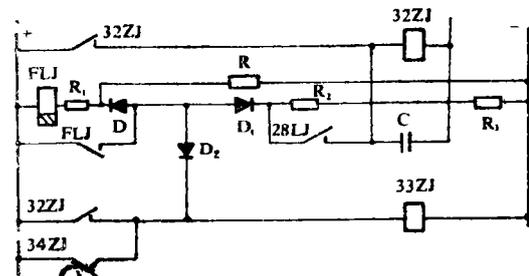


图 2

(上接67页)

X31B三极管有断腿现象, 经查明断腿原因是由于该批管子由于某特殊原因而致贮存时间太长(长达十年之多), 在仓库贮存中已经严重锈蚀甚至断裂。国外元件进厂后贮存有严格的规定, 日本定为6个月未焊于整机上的元件全部返回元件厂进行重新的表面处理, 而我国却没有这方面的明确规定, 导致了元件贮存过长锈蚀断腿现象。我厂已认识了这个问题, 并已制定了晶体管贮存方面的技术标准。

除了上述因素外, 还不能排除现场的环境因素, 静态继电器运行的现场如果湿度大、尤其是空气污染严重的环境, 引线的大气腐蚀会加剧, 故对于这些特殊环境使用的静态继电器应采取相应的特殊工艺措施。

## 六 结 束 语

通过上述的工艺剖析, 我们看到导致晶体管断腿因素很多, 要彻底根治则应予以全面重视、采取相应的措施。最重要的是应消除电化学腐蚀的基础——镀金可伐丝引线, 要求供应部门供给镀铅锡合金或镀锡钨合金的可伐丝引线的晶体管。并应加强元件的进厂检查、加强各方面的工艺防治措施和改变落后的生产管理方式, 只有这样, 才能彻底杜绝晶体管断腿现象的发生。