

几种典型继电器接插件分析

许昌继电器研究所 谷文天

摘要

本文分析了几种国内外典型继电器接插件的结构特点和影响接触电阻的因素,并应用摩擦学基本原理提出改进接插件设计、制造及表面处理的意见。

前 言

电子电工设备进行正常工作的必要条件是电器元件工作可靠,各电路连接牢固,电气连接则是保证电路及电器元件连接或断开的主要手段。电气连接设计、制造是电子电工设备设计和制造的重要内容之一。

目前接插件是用于电气连接的主要元件。通过接插件可将两导体接通或切断,其典型方式是:冷压连接(锡焊接或绕接)——插接——冷压连接(锡焊接或绕接),插接是其中一个开关环节。不同的电路设计和电气设备对接插件的性能要求有所差异,但对其共同要求是接触电阻尽量小,接触可靠。本文从实际生产应用的角度,着重对国内外几种用于继电器和继电保护设备的典型接插件的特点进行分析。有助于提高我们接插件设计和制造水平。

一 继电器及继电保护设备对接插件的要求

众所周知,我国电力事业的发展还很落后,电力供应十分紧张。尽量降低继电器和保护设备的电能损耗,是产品设计的主要考核指标之一,在每一项有关标准中,对继电器和设备的功耗要求都十分严格。然而,在电气连接众多的继电保护设备中,由于接触电阻不可避免的存在,使得电气连接消耗了大量的能量。另一方面,由于设备消耗了大量的电能,因此在设备内部产生大量的热。这些热量对电器元件及电子元器件的工作是极为不利的。由此而知,降低接插件的接触电阻是降低设备功耗的途径之一。

电力系统不但要求继电保护设备功耗小,而且还要具有很高的可靠性。如果设备中某一电气连接失效,在电力系统局部发生故障时,设备失去作用,不能消除故障或将故障区隔离,将会使事故扩大,造成局部高压设备乃至整个电网损坏等巨大经济损失。因此,务必要保证继电保护设备高可靠性地工作。提高电气连接用接插件的接触可靠性对保证设备正常工作是十分重要的。

综上所述,提高接插件连接可靠性和降低接触电阻是接插件设计、制造过程中解决的

主要问题。继电器及设备对接插件连接的基本要求是：

1. 尽量小的接触电阻，以减小功率损耗和热量。理想的情况是接触电阻为零。
2. 在接触电阻小的同时，接插力要小。
3. 必须有足够的机械连接强度，以保证连接可靠。
4. 必须有足够的耐腐蚀性，能适应相应的气候条件和环境条件。
5. 接插件的使用寿命必须高于设备的使用寿命，以保证设备在寿命期限内能够正常工作。
6. 加工方便，成本低廉，装配，使用方便。

接插件的两个接触体的表面在接触区存在接触电阻，可用下式表示：

$$R_t = R_c + R_f \quad (1)$$

R_c —收缩电阻

R_f —薄膜电阻

一般情况下，继电器使用的场合的环境和气候条件均较好，接插件在使用过程中，接触电阻主要是收缩电阻。每一对接插件的收缩电阻：

$$R_c = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4} \sqrt{\frac{\pi f}{n p_k}} \quad (2)$$

p_k —接触压力

f —接触材料弹性极限（当不同材料组合时，取弹性极限小的值）。

ρ_1 、 ρ_2 —两种接触材料的电阻系数，当接触材料相同时电阻系数相同。

n —接触副中的真正接触点的数目。

由(2)式可知，接触电阻与材料的电阻系数成正比，与材料弹性极限的均方根成正比。与接触压力的均方根成反比。接触元件材料应选择弹性极限较低的材料，而且当增加接触压力时，真正接触点数目增多，从而可降低接触电阻。在实际生产中，接插件的接触电阻值是难以精确计算的，而且同一批生产的插件的阻值的离散性也很大。接触电阻通常用测量的方法获得。在生产和使用过程中，对接触电阻的最大值都有一定的要求。

二 国外几种典型接插件分析

国外对电气连接早有高度重视，为了提高电气连接的可靠性，一些专门从事电气连接生产的厂商围绕电气连接中的试验研究，生产工艺，材料选用，质量控制专题，展开了深入细致的研究工作，并获得了许多实质性成果。因为插接方便，灵活，在电气连接中接插是目前最受欢迎的连接方式。国外继电器接插件品种繁多，由于工艺上的有力保证，可靠性很高。瑞典通用电气公司（ASEA）继电器及保护设备使用的接插件，如图1所示。插针可视为刚性接触体，插套为弹性接触体。两接触体与导线均为冷压连接，其方法简单方便，设备配线时具有很大的灵活性。插套弹性接触片，可简化为图2所示的结构，当插针插入时，插套的各个簧片由于弹性变形产生接触压力，使两接触件导通。

ASEA接插件的接触部分截面如图3所示。两接触表面的光洁度较高(粗糙度较低)接触面积大,对降低接触电阻十分有利。插套材料为铍青铜。铍青铜经淬火和人工时

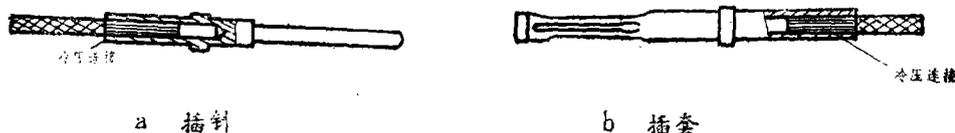


图1 ASEA接插件

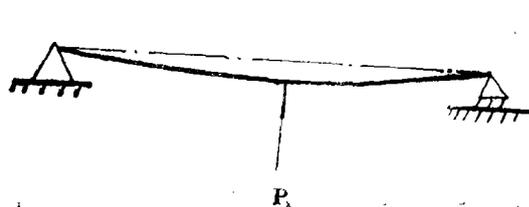


图2

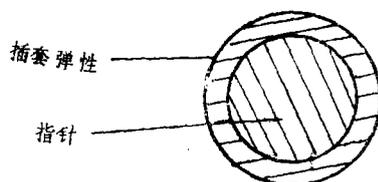


图3

效处理后,强度、硬度,弹性极限和疲劳极限都很高。而且具有良好的导电性和耐腐蚀性等优点,是很好的弹性导电材料。但是铍青铜价格昂贵。加工工艺复杂。ASEA接插件

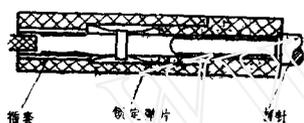


图4 ASEA接插件接触示意图

表面镀银,以降低接触电阻。经测得每一对接插件的平均接触电阻小于值 $3\text{m}\Omega$,接插力为 $400\sim 1000\text{g}$ 。在实际应用时,插针为固定端,弹性插套为活动端。因为接插力小,为了防止两接触元件脱离,接线端壳体内设有锁定弹片,如图4所示。

ASEA接插件体积极小,安装密度大,可使设备的体积大为缩小。ASEA接插件的插针材料为59-1黄铜,冷锻加工,成形后表面光滑。插套由铍青铜带冲制成形。插套形状复杂,用多步联动模具冲制,零件加工精度高。

我厂引进西德产品的试验接插件,如图5所示。两个相同的接触元件,可互相套插,靠接触压力自锁。这种接插件的特点是:加工简单(与ASEA接插件相比),接触面积大,接触电阻极小,接插柔和自如。但是在继电保护设备中,必须采用相应的措施,保证在很小的接触压力下,接触可靠。由于接触元件的尖端部分刚度差,容易碰伤变形,因此接插元件尖端不应暴露在设备外部。

三 国内目前继电器常用的接插件分析

我们国内保护继电器接线多数仍为螺钉螺母与导线压接,其连接方式落后。螺钉螺母及导线冷压端头体积大,不利于安装使用,而且接触电阻大。目前开始应用插接连接方式。其应用较多的接插件,如图6所示。这种接插件的特点是:插片冷冲裁成形,制造简单,但是由于插片通常为 $0.8\sim 1.0\text{mm}$ 的59-1黄铜带,不能弯曲成形并与导线冷

压连接，而只能与导线锡焊接。实验证明，锡焊接发生虚焊现象是难以检查的。因为虚焊连接时，导线与接触元件处于似连非连的临界状态，抗振动能力差。即使通电测试合格，一旦有振动时，连接破坏。因此，锡焊接的连接可靠性及寿命都比较低。

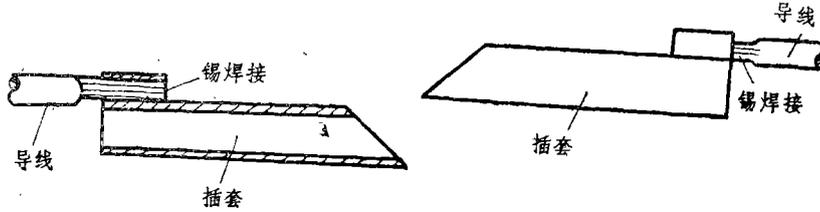


图 5

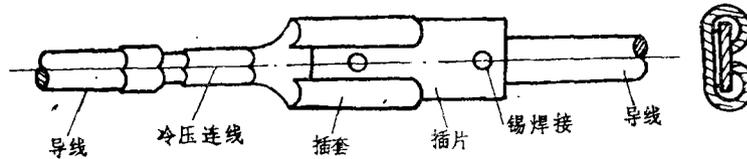


图 6 (a) (b)

插套与插片插接时，插套弯曲部分曲率大，成形后形状稳定。弯曲部分抗弯截面模量较大，插接时不易变形，接触压力很大，因此插拔力也很大，接触电阻小。但是由于冲裁料边缘存在尖角（如图6(b)所示）使接插时，磨损严重。一对接插件寿命试验后，插片的接触表面电镀层被严重磨损，露出基材。露出的金属表面层很容易形成氧化薄膜，使接触电阻增加。

我们把经冷压端头与导线冷压连接部分截面在金相显微镜下观察，在压力作用下，导线截面严重变形，两金属接触十分紧密。因此这种冷压连接方式十分可靠，连接部分的接触电阻几乎为零。

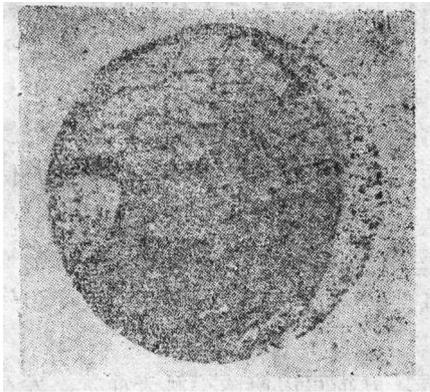


图 7 冷压端头与导线冷压连接截面放大照片

如果将图 6 中的插片改为图 8 所示的结构形状，与导线实现冷压连接，会使其连接可靠。插片用 0.3~0.4mm H62 铜带冷冲制成形，其加工简单。

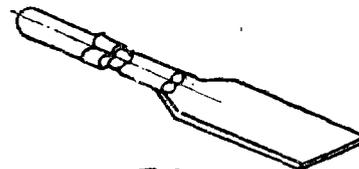


图 8

目前，我们使用的继电器接插件如图 9 所示。插片形状同图 6 (a) 的插片，弹性接触片用双层弹性件增加接触压力，以减小接触电阻，提高连接可靠性。两接触元件的接触面积很大，接触电阻很小，经实测平均接触电阻为 4.2mΩ。这种接插件的弹性接触片与导线连接采用螺钉螺母紧固，接插件所占空间大。如果将螺钉、螺母连接改为冷

压连接,用图8所示的插片,其连接效果会更好。

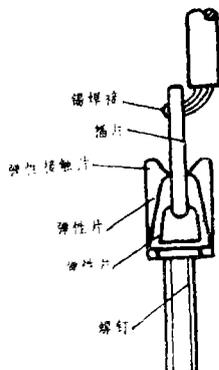


图9

四 改进我国保护继电器接插件的意见

前面分析表明,目前我国的保护继电器接插件接触电阻很小,多数接插力大。磨损严重,与导线连接为锡焊接或螺钉、螺母与导线紧固的方式,其连接可靠性低,占有空间大。继电保护设备内部拥有大量的电气连接,有些设备需要一出多进或多出多进的接线方式,现有的接插件往往不能满足这种连接要求。接插件在通电状态下,其摩擦磨损是很复杂时,它与摩擦材料,结构形状、表面粗糙度以及通过的电流强度等多种因素有关。下面仅就机械摩擦磨损情况加以讨论。

通常,接插件在接插过程中,处于干摩擦状态,会出现静摩擦和动摩擦。两种摩擦分别为:

$$F_s = k_s \cdot p_k \quad (3)$$

$$F_d = k_d \cdot p_k \quad (4)$$

F_s —最大静摩擦力

F_d —动摩擦力

k_s —最大静摩擦系数

k_d —动摩擦系数

p_k —接触压力

(3)和(4)表明,降低接触压力,可减少摩擦力即接插力,减轻接触表面的磨损。但是从(2)式可知,降低接触压力,会使接触电阻增加,因此,降低摩擦系数,减小摩擦力较为合理。摩擦系数与材料的表面性质,介质或环境等因素有密切关系。接插件的表面存在氧化膜时,滑动摩擦主要发生在膜层内。由于表面氧化膜的机械强度比金属材料差,在接插摩擦过程中,膜先被破坏,金属摩擦表面不易发生粘着现象,使摩擦系数降低,减小摩擦阻力和磨损。接插件表面通常是金属氧化物和硫化物,有的金属氧化物和硫化物是绝缘体,会使接触电阻剧增,有的金属氧化物和硫化物是半导体,使接触电阻增加很小。如接插元件表面镀银,表面往往形成硫化银,由于硫化银是半导体材料,使接插件接触电阻增加很小。纯净金属表面相互接插时,由于不存在表面氧化物或硫化物,摩擦系数都比较高,但接触电阻极小。在接插件实际应用时,由于环境条件和气候条件的原因,表面通常存在氧化膜和硫化膜层。

接插件接插时的摩擦必然伴随着接触表面的磨损。磨损可以使两接触表面状态发生变化,而且往往破坏接触表面的质量。摩擦磨损过程产生微小磨粒,通常磨粒硬度远高于摩擦表面的硬度。当再接触摩擦时,磨粒起到了磨料的作用,又使磨损加剧,接触表面被严重磨损后,金属基材暴露,表面易形成氧化膜。由于氧化膜和磨粒堆积的影响,接插副中真正接触点的数目减小,接触电阻增加,因此,改善接触表面摩擦状态,减小磨损,可提高接插件的使用寿命,降低接触电阻和接插力。改善表面摩擦状态,降低接触

电阻的方法有：

- 1) 接触表面润滑；
- 2) 降低接触表面粗糙度；
- 3) 合理选择接触表面镀层；
- 4) 合理选择接插件材料；
- 5) 合理设计接触表面形状，增加接触面积。

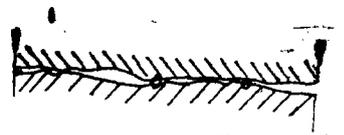


图10

目前接插件润滑剂种类繁多，在很大程度上能有效地改善接触表面的摩擦状态，降低摩擦系数和接插力，但是润滑剂的价格都十分昂贵，润滑剂的应用由于工艺上的一些原因受到限制。

接插件表面粗糙度直接影响接触电阻和摩擦状态，如图10所示。当表面粗糙度增大时，两接触表面真正接触点的数目减少，接插电阻增加，在相同的接触压力作用下，表面接触点处的压强很高，每次接触时，摩擦总发生在接触点处，在这种带电，高压强摩擦情况下，磨损是十分严重的，接触电阻也很高。所以，降低接触表面粗糙度对改善摩擦状态、减轻磨损、降低接触电阻是十分有利的。

在降低接触表面粗糙度的基础上，合理选择镀层材料，提高表面耐磨性，也可有效地降低接触电阻，提高接插件的寿命。据有关资料介绍，分别对钴硬金镀层，钎镍合金镀层和钎镍镀层上再镀软金的镀层三种镀层的接插件进行了耐磨性试验。经25000次插拔试验后，结果表明，除第三种镀层完全无损伤外，前两种镀层已被磨损得露出底层金属。试验后测得钎镍镀层再镀软金的接插件的接触电阻无明显增加。这表明，第三种镀层具有相当高的耐磨性和极小的接触电阻。

接插件材料的选择和结构形状有着密切的关系。结构形状和材料性质直接影响着零件的加工的难易程度。接插件设计时，就必须尽量使零件具有尽可能大的接触面积，采取提高接触可靠性的措施。如图4和图9所示的接插件，接触十分可靠。

五 结束语

虽然继电器接插件结构设计方案很多，但是连接可靠性和接触电阻是接插件设计制造的关键问题。例如，接触压力来源于接插件中弹性元件，弹性元件质量稳定程度直接影响连接可靠性和接触电阻。弹性元件冷冲压成形过程中，局部塑性变形存在内应力，要经热处理或时效处理消除，否则在使用过程中内应力逐步释放，影响零件质量。目前我国保护继电器接插件模具质量偏低。严重影响了接插件的质量。提高模具制造水平是提高接插件质量的基础，只有高质量的模具，才能保证接插件的质量达到设计水平。

参考文献

- | | | |
|------------------|------|----------|
| 1. 电接触材料的研究和应用 | 刘先囡编 | 国防工业出版社 |
| 2. 机械工程手册(4) | | 机械工业出版社 |
| 3. 继电器接插件的初步试验研究 | | 许昌继电器研究所 |