

# 电连接器接触件接触特性仿真分析

张平均<sup>1</sup>, 嵇凯生<sup>1</sup>, 王颖<sup>1</sup>, 李士勇<sup>2</sup>, 王小红<sup>3</sup>

(1. 福建工程学院 电子电气与物理学院, 福建 福州 350118;

2. 厦门鼎芯科技有限公司, 福建 厦门 361006;

3. 福建工程学院 图书馆, 福建 福州 350118)

**摘要:** 为研究电连接器接触件的接触特性, 分析电连接器接触失效的原因, 利用 SOLIDWORKS 软件对电连接器进行建模, 利用 ANSYS Workbench 有限元分析软件中的静力学模块对电连接器接触件的插拔过程进行仿真, 得到了接触件在插拔过程中插针的变形, 应力分布以及插拔力与时间、位移的变化情况。分析结果表明, 在插针凸包根部区域形变最为明显。有限元软件能够较好模拟接触件插拔过程中的接触特性, 为电连接器接触可靠性提供依据, 同时也为优化生产打下基础。

**关键词:** 电连接器; 接触件; 接触特性; 有限元法

**中图分类号:** TM503

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4348(2023)03-0264-05

## Simulation analysis of contact characteristics of electrical connectors

ZHANG Pingjun<sup>1</sup>, JI Kaisheng<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>1</sup>, LI Shiyong<sup>2</sup>, WANG Xiaohong<sup>3</sup>

(1. School of Electronic, Electrical Engineering and Physics, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Xiamen Dingxin Technology Co., Ltd., Xiamen, 361006, China;

3. Library, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** In order to study the contact characteristics of electrical connectors, the causes of contact failure of electrical connectors were analyzed, the model of electrical connector was built by using SOLIDWORKS software, and the process of plug and pull of electrical connector contact was simulated by using the statics module in the finite element analysis software of ANSYS Workbench. The deformation and stress distribution of the pins, as well as the changes of the force, time and displacement of the pins were obtained. Analysis results show that the deformation is most obvious at the root of the convex hull. The finite element software can simulate the contact characteristics of the contact parts well, which provides a basis for the contact reliability of electrical connectors and lays a foundation for the optimization of production.

**Keywords:** electrical connectors; contacts; contact characteristics; finite element method

电连接器作为电连接的基础元件, 广泛应用于航空航天、工业设备、通信等重要领域<sup>[1]</sup>。电连接器的基本组成单元主要为接触件、绝缘体以及壳体<sup>[2]</sup>, 其中最重要的部分为接触件。在实际应用中, 电连接器的接触失效时常发生, 因此不少学者针对接触件进行特性分析的研究。

文献[3]通过对传统式的圆柱形开槽插孔和弹性插针进行插拔仿真分析总结出影响插拔力的各个因素。文献[4]通过对比高速背板连接器插

拔仿真结果与实验测试结果, 认为插拔力分析可以为电连接器结构优化提供参考依据。文献[5]通过冲击试验研究电连接器在冲击环境下的接触性能, 发现严酷等级与脉冲持续时间等因素对电连接器接触性能的影响最大。文献[6]通过给片形接触件施加横向位移模拟车用方形电连接器插拔力。文献[7]通过微动过程研究电连接器的接触性能, 认为接触电阻的增大是引发微动磨损的主要原因。文献[8]研究表明接触件的插拔力和

应力会随收口量的增大而增大。

本研究选用 HJ30J 系列微矩形电连接器,其接触件虽然和传统电连接器一样是由公插头和母插孔组成,但是其接触件由弹性插针、刚性插孔构成的,有别于传统的刚性插针、弹性插孔组合,从而可以大大提高电连接器的接触可靠性<sup>[9]</sup>。本研究基于 ANSYS Workbench 有限元分析软件,通过对微矩形电连接器接触件接触性能进行仿真,分析弹性插针的变形、应力分布<sup>[10]</sup>以及插拔力的变化情况,为结构优化提供依据。

## 1 电连接器失效机理分析

电连接器失效具体可分为电气失效、机械失效以及环境失效 3 个方面。

电气失效的主要形式为接触失效、绝缘失效以及耐压失效。接触失效为最主要的电气失效形式,接触电阻的增大是引起接触失效的关键因素。在电连接器的设计过程中,一般要求接触电阻很小,因为电阻值过大会增加发热量,从而降低接触可靠性。机械失效常常与接触件本身有着密不可分的联系,接触件断裂或插拔力过大过小都会引起机械失效。环境失效中,温度是影响电连接器接触性能的一个重要因素。

## 2 接触件数学模型

当弹性插针与刚性插孔在插合的时候,插针的凸包部位与插孔内壁接触会产生一个接触压力。为分析插拔力与接触压力的关系,需将插针外层单根绞线简化为如图 1 所示的悬臂梁模型进行接触分析,将插入力简化为施加于两夹角为  $\alpha$  的平面上的力  $F$ ,其中  $P$  为接触压力, $d_1$ 、 $d_2$  分别为插孔和插针的直径。

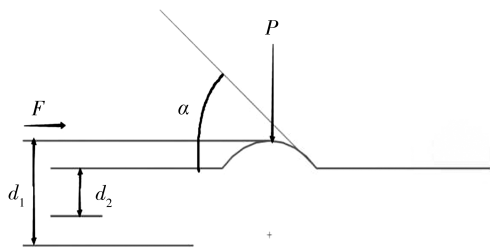


图 1 插针悬臂梁示意图

Fig.1 Schematic diagram of pin cantilever

当插针的凸包与插孔接触,且 Z 轴(轴向)受力平衡,即  $\Sigma F_z = 0$  时,可得插入力为

$$F_{in} = n * P * (\tan\alpha + \mu) \quad (1)$$

而在拔出阶段,仅仅是作用力相反,因此拔出

$$F_{out} = n * P * (\tan\alpha - \mu) \quad (2)$$

式中, $F_{in}$ 、 $F_{out}$  为插拔力,单位为 N; $P$  为接触压力,单位为 N; $\alpha$  为结合面夹角; $\mu$  为摩擦系数; $n$  为绞线数量。

由式(1)(2)可以看出,接触压力的值是求解插拔力的关键。若要求接触压力,需对单根绞线进行受力分析,根据悬臂梁受集中力作用(如图 2)的弯曲变形公式。

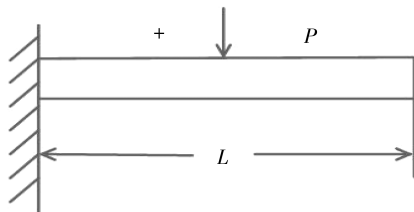


图 2 插针等效悬臂梁示意图

Fig.2 Schematic diagram of equivalent cantilever beam with pin insertion

$$P = \frac{3EIH}{L^3} \quad (3)$$

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (4)$$

式中, $E$  为弹性模量,与插针所用材料有关; $I$  为圆柱体惯性矩,与绞线直径有关; $H$  为凸包下压变形量(即挠度),与凸包直径以及节距有关; $D$  为凸包直径。

## 3 微矩形电连接器接触分析

### 3.1 微矩形电连接器模型设计

本研究是基于 HJ30J 系列的电连接器,由于 HJ30J 系列电连接器有 12 对接触件,各个尺寸参数完全一样,因此取其中一对接触件进行接触分析,既能快速分析其接触性能,也能节省大量的工作时间。每对接触件模型如图 3 所示。

### 3.2 接触件接触性能仿真分析

#### 3.2.1 定义材料属性

由于 HJ30J 系列电连接器的结构独特性(即由弹性插针、刚性插孔构成),需要研究插针与插孔插合(或是分离)时插针的形变情况。选择铍青铜作为弹性插针的原材料,具体材料参数如表 1 所示。

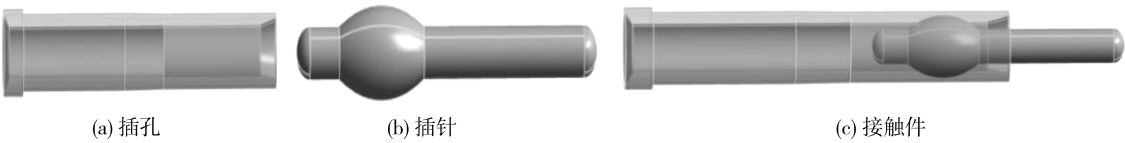


图 3 电连接器接触件

Fig.3 Contact pairs of electrical connectors

表 1 铍青铜材料属性

Tab.1 Material parameters of beryllium bronze

密度/ $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$	弹性模 量/GPa	泊松 比	屈服应 力/MPa	剪切强 度/MPa
$8.27 \times 10^{-6}$	127	0.3	1 000	$4.9 \times 10^4$

3.2.2 网格划分

本研究选用的是刚性插孔和弹性插针组成的接触件,在静力学模块中刚体的外表面无法进行网格划分,因此只研究插孔内表面以及弹性插针的网格划分情况。图 4(a)为默认情况下的网格划分情况,默认单元尺寸为 0.232 mm,插针节点数为 182,单元数量为 523。从图 4(a)可见,插针的外表面网格以四面体为主导,网格数量稀疏,这就会导致计算精度低。为了提升模型的计算精度值,网格划分时需要对比插针及插孔的面网格尺寸进行调整及细化,调整单元尺寸为 0.1 mm,插针节点数为 4 025,单元数量为 704。调整细化后的网格如图 4(b)所示。可见调整后网格数量大大增加,网格单元尺寸减小,网格形状从原来的四面体主导转换为六面体主导。

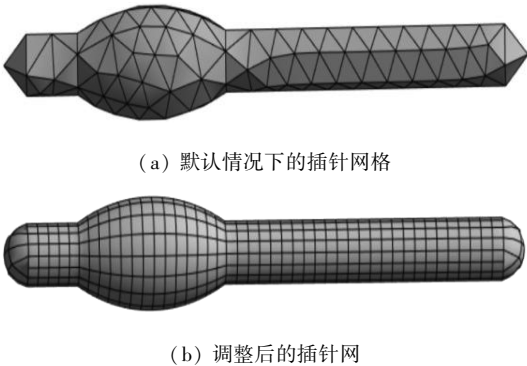


图 4 插针网格

Fig.4 Pin grid

3.2.3 接触特性仿真设置

本研究选用有限元软件 ANSYS Workbench 中静力学模块进行接触分析。首先,确定接触面与目标面。在接触分析的问题中,通常把刚性体

设置成目标面,相对柔性的物体设置为接触面,因此刚性插孔为目标几何体,弹性插针为接触几何体。

其次,定义接触类型。接触类型主要分为绑定、无摩擦、无分离、粗糙以及摩擦这 5 种类型,本研究选用摩擦接触类型,摩擦系数为 0.15,行为设置为非对称,公式为罚函数,法向刚度因素设置为 0.01。

最后,设置载荷以及边界条件。本研究设置了 4 个载荷步,每个载荷步的时间为 1 s,插入与拔出均为两个载荷步,共计 4 s。针对此型号的电连接器接触件,采用了固定插孔移动插针的方式,即给插针施加一个位移载荷。本研究只分析 Z 轴方向上的力,所以需要对 X 轴以及 Y 轴方向进行约束,即使 X 轴 Y 轴方向上的位移分量为 0 mm,而 Z 轴方向上的位移分量为 1.8 mm(拔出时是沿着 Z 轴反方向,插入时与 Z 轴同向)。具体设置如表 2 所示。

表 2 时间载荷设置

Tab.2 Time load setup

步数	时间/s	X/mm	Y/mm	Z/mm
1	0	0	0	0
1	1	0	0	-0.9
2	2	0	0	-1.8
3	3	0	0	-0.9
4	4	0	0	0

3.2.4 结果分析

在插针拔出过程中,随着时间的增大,插针的形变也逐步增大。在 0.38 s 时,插针的形变达到最大值,等效应力为 1 120.4 MPa,略大于材料的屈服极限值。经观察,应力最大值分布在凸包的根部,因此根部会发生一定的塑性形变。随着插针的拔出,插针形变值逐渐减小,最后慢慢趋于

0 MPa。具体应力分布如图 5 所示。

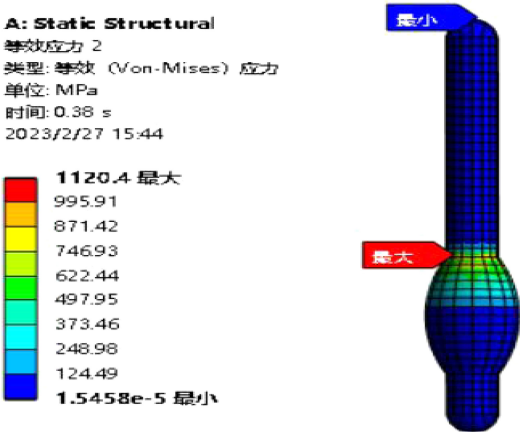


图 5 插针拔出等效应力云图

Fig.5 Equivalent stress nephogram of pin being pulled out

而在插针插合过程中,插入力随时间的变化而变化,在 3.354 1 s 时,插针的等效应力达到了最大值,为 1 140.6 MPa,略大于拔出时的最大等效应力。至此,直到插合完成,插针属于滑移阶段,插针的等效应力固定在了 1 119 MPa,略小于插拔力的最大值。具体应力分布如图 6 所示。

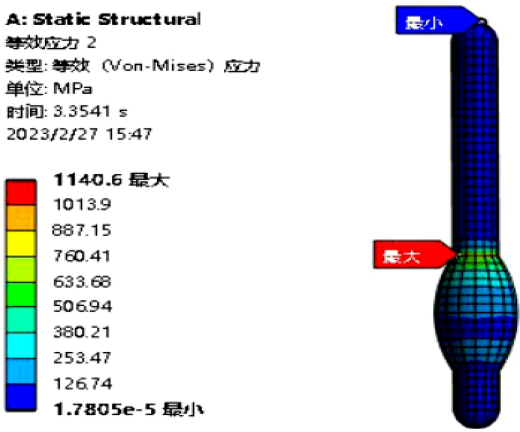


图 6 插针插入等效应力云图

Fig.6 Equivalent stress nephogram of pin insertion

接触分析不仅要分析等效应力的大小,还需要分析插拔力随时间、位移的分布情况。具体情况如图 7、图 8 所示。图 8(a)、图 8(b)分别为插入力、拔运力随位移变化的曲线。可见,插入力的值(33.6 N)略大于拔出力的值(28 N 左右),这与插入时的等效应力略大于拔出时的等效应力的结果相吻合。

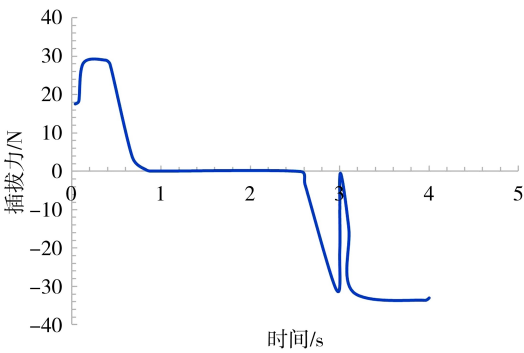
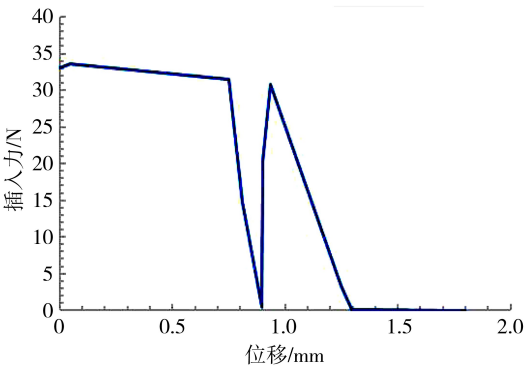
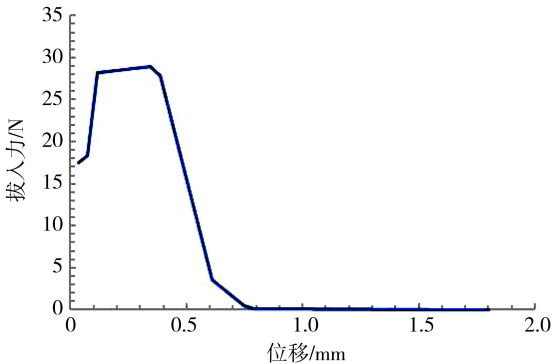


图 7 插拔力-时间曲线

Fig.7 Insertion force-time curve



(a) 插入力-时间曲线



(b) 拔出力-时间曲线

图 8 插拔力-位移曲线

Fig.8 Insertion force-displacement curve

## 4 结语

本研究利用 ANSYS Workbench 软件对 HJ30J 系列电连接器进行接触仿真分析,结果表明:在接触件的插拔过程中,最大应力分布在凸包的根部,应力值略大于铍青铜的屈服极限值,根部可能会发生一定的塑性形变,使接触性能有所降低。为提高电连接器的电接触性能,在生产过程中需要对该型号电连接器凸包根部进行优化设计。



## 参考文献:

- [1] 贺占蜀,张远西,王培卓,等. 电连接器接触件的插拔和温升特性[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2017,45(4):59-65,80.
- [2] 李茜,李景育,陈星昊,等. 电连接器的概述和研究现状分析[J]. 环境技术,2021,39(6):115-119.
- [3] DUAN K,ZHU F L,LI Y,et al. Contact resistance investigation of electrical connector with different shrink range[C]//2014 15th International Conference on Electronic Packaging Technology. Chengdu,China: IEEE,2014:1146-1149.
- [4] 黄波,李迅波,曾志,等. 高速背板连接器接触件插拔力数值仿真分析[J]. 机械设计与制造,2017(5):21-25.
- [5] 骆燕燕,武雄伟,田亚超,等. 冲击环境下电连接器接触性能研究[J]. 工程设计学报,2018,25(1):110-117.
- [6] 祁建德,陈微微,唐颖,等. 车用方形连接器插拔力分析[J]. 中国新技术新产品,2020(22):46-49.
- [7] HUANG B,LI X B,ZENG Z,et al. Mechanical behavior and fatigue life estimation on fretting wear for micro-rectangular electrical connector[J]. Microelectronics Reliability,2016,66:106-112.
- [8] 肖陈兵,黄海波. 电连接器接触件插拔特性研究[J]. 机械制造,2023,61(2):28-31,34.
- [9] 梁志伟,陈南波. 变流器常用电连接器接触性能及可靠性分析[J]. 机车电传动,2018(1):17-21,26.
- [10] 邵明坤,汤振,江浪,等. 电连接器接触件断裂失效分析[J]. 机电工程技术,2021,50(11):74-77.

(责任编辑:方素华)

## 《福建工程学院学报》征稿启事

《福建工程学院学报》是原中华人民共和国国家新闻出版广电总局批准、福建省教育厅主管、福建工程学院主办的省级综合性学术期刊,国内外公开发行;坚持“创新性、科学性、实用性”的办刊方针,追踪学科前沿研究成果,展现区域文化特色;现为双月刊,每年6期(其中理工版4期,社科版2期)。中国标准连续出版物号:CN 35-1267/Z;国际标准连续出版物号:ISSN 1672-4348;国外发行代号:BM4387。

本刊为中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊,中国学术期刊综合评价数据来源期刊,万方数据库全文收录期刊,维普资讯《中文科技期刊数据库》全文收录期刊,台湾华艺 CEPS 中文电子期刊服务数据库全文收录期刊。

### 一、投稿要求

来稿要求思想正确,立论科学,观点鲜明,论证严密,论据充分,资料可靠,引证恰当,图表合理,术语规范,文字精炼,具体格式和要求请看本刊网站的“投稿须知”( <http://gcxyxb.fjut.edu.cn/Corp/30.aspx> )。

### 二、投稿方式

1. 打开福建工程学院主页( <http://www.fjut.edu.cn/> )从“学报纵览”进入学报采编系统,注册登录进行投稿;

2. 直接打开域名( <http://gcxyxb.fjut.edu.cn/> ),进入学报采编系统,注册登录进行投稿。

### 三、投稿约定

1. 来稿须保证合法性和规范性,坚决反对学术不端行为。
2. 作者可在线查询稿件处理情况。本刊概不收取版面费、审稿费等费用。
3. 稿件一经采用,其发表权、汇编权、纸型版、网络版及其他电子版的发行权、传播权和复制权交本刊独家使用,并同意由编辑部统一纳入相关的信息服务系统。

### 四、本刊联系方式

地址:福建省福州市闽侯县上街镇学府南路 69 号(邮编:350118)

电话:0591-22863076