

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.03.013

弹性连接器盲配安装分析及结构设计

杨婷婷

(中国电子科技集团公司第三十八研究所,安徽 合肥 230011)

摘要:弹性连接器是一种具有体积小、集成度高等众多优点的新型连接器,是未来高集成度结构设计的重要连接方式之一。在结构紧凑的设计中,弹性连接器只需很小的高度尺寸空间就可完成信号传输,但其对盲配结构公差的要求非常严格。为了更好地设计弹性连接器盲配结构,提出一种结构公差计算方法。建立弹针偏离关系理论公式,分析弹性连接器弹针偏移量与结构尺寸公差之间的关系;建立弹性连接器盲配结构设计理论模型,基于该理论模型,根据实际情况推导相关结构尺寸公差。该方法为未来越来越重要的弹性连接器盲配结构设计提供了理论依据。

关键词:弹性连接器;公差分析;盲配安装;结构设计;理论分析

中图分类号:TH131 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)03-0066-05

Blind Installation Analysis and Structural Design of Elastic Connector

YANG Tingting

(The 38th Research institute of CETC, Hefei 230011, China)

Abstract: Elastic connector, a new type of connector with advantages such as small size, high integration, is one of the most important connection methods for future high integration structural design. In its tight structural design, the connector requires only a small height space for signal transmission, but great strictness for blind matching structure tolerance control. In order to design better blind structure of elastic connector, a new structure tolerance calculation method is proposed. The theoretical formula of elastic pin deviation relation is established, and the relation between elastic pin deviation and structural dimension tolerance is analyzed. The theoretical model of blind structure design of elastic connector is further established, based on which the dimensional tolerance of the structure is derived in actual situation. The proposed method provides a theoretical basis for even more important blind configuration design of elastic connectors in the future.

Keywords: elastic connector; tolerance analysis; blind connector installation; structural design; theoretical analysis

0 引言

随着电子信息相关学科技术的不断发展,对现代军用、民用电子装备性能的要求也大幅提高。各类星载、机载雷达系统作为现代军用重要核心装备,不仅电气性能指标要求越来越高,而且体积和质量的要求也越来越高。电子装备特别是各类雷达电子设备正朝着小型化、轻量化、模块化、高集成度的方向发展^[1-9]。

随着雷达设计小型化、集成度要求越来越高,传统通过焊接连接、螺装连接的连接器尺寸大的缺点对产品集成度的限制和影响越来越大。一种新型的弹性连接器凭借其优越的性能脱颖而出^[10-12]。弹性连接器比传统连接器尺寸体积小很多,并且它只需要非常小的印制板空间以及很小的高度空间就可以完成信号传输,同时因为其只需通过压接就可以实现信号传输,其安装更换

也更加方便^[13-14]。因此在未来空间紧张的结构设计中,弹性连接器必能占据越来越重要的位置,成为未来雷达信号传输的重要连接方式之一^[15]。

弹性连接器虽有其鲜明的优点,但为了避免相邻接点之间的短路现象,需要其与焊盘之间精准地配准,而合适的结构设计是保证配准的核心。

本文首先建立弹针偏离关系理论模型,分析弹性连接器弹针偏移量与结构尺寸公差之间的关系。进一步建立弹性连接器盲配定位结构设计理论模型。基于该理论模型,根据实际情况,推导相关结构尺寸公差。该方法为未来越来越重要的弹性连接器结构尺寸相关设计提供了理论依据。

1 建立弹针偏离关系理论模型

1.1 弹性连接器弹针偏移量分析

分析弹性连接器与上下印制板盲配安装过程,弹性连接器与上下印制板盲配安装过程中存

作者简介:杨婷婷(1994—),安徽合肥人,工程师,硕士,研究方向为星载结构设计,1207511416@qq.com。

在两种装插情况:垂直装插、倾角装插。两种装插情况如图 1、图 2 所示。采用理论推导方式分析盲配过程。

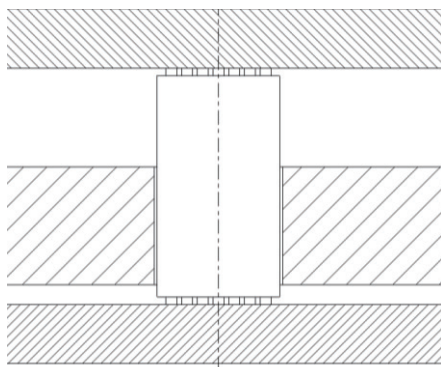


图 1 弹性连接器垂直时装配示意图

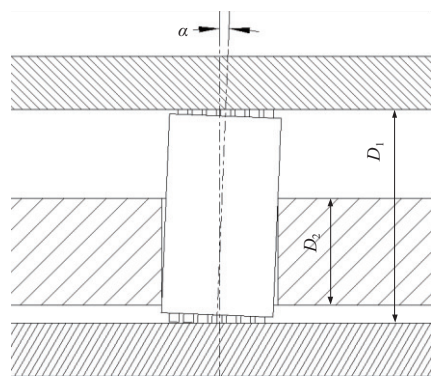


图 2 弹性连接器倾斜时装配示意图

弹针与焊盘的偏移量 X 由静态偏差 δ 和随机偏差 Δ 两部分组成。

静态偏差 δ 一部分是壳体和印制板加工导致的位置偏差,一部分是印制板与壳体安装时导致的安装误差。

随机偏差 Δ 是弹性连接器安装时随机出现的不定误差。当弹性连接器垂直安装且弹性连接器在安装孔中居中垂直安装时,随机偏差 Δ 取最小值 0;当弹性连接器在安装孔中靠边安装时随机偏差 Δ 取最大值。

$$X_{\max} = \delta + \frac{L_1 - L_2}{2} \quad (1)$$

式中: L_1 是定位孔开口长度尺寸; L_2 是弹性连接器长度尺寸。

当弹性连接器倾角安装且弹性连接器在安装孔中倾斜角度 α 越大时,随机偏差 Δ 越大。最大随机偏差可以通过构建相似三角形计算获得,如下所示:

$$\Delta_{\max} = \frac{L_1 - L_2}{D_2} D_1 \quad (2)$$

式中: D_1 为弹性连接器安装空间高度; D_2 为定位孔深度尺寸,此时弹针的偏移量

$$X_{\max} = \delta + \Delta_{\max} = \delta + \frac{L_1 - L_2}{D_2} D_1 \quad (3)$$

上文计算偏移量是平面偏移量,即仅仅是 x 方向的偏移量, y 方向的偏移量可通过相同方式计算。

弹性连接器垂直安装时 y 方向的最大偏移量为

$$Y_{\max} = \delta_y + \frac{W_1 - W_2}{2} \quad (4)$$

弹性连接器倾斜安装时加上 y 方向的最大偏移量,总的偏移量为

$$Y_{\max} = \delta_y + \frac{W_1 - W_2}{D_2} D_1 \quad (5)$$

根据以上 xy 方向偏移量的计算结果,可以计算弹性连接器弹针在指定方向的最大偏移量

$$D_{\max} = X_{\max} \cos \theta + Y_{\max} \sin \theta \quad (6)$$

带入弹性连接器垂直安装时 xy 方向的最大偏移量,能够得到垂直安装时弹针在指定方向的偏移量为

$$D_{\max v} = \left(\delta_x + \frac{L_1 - L_2}{2} \right) \cos \theta + \left(\delta_y + \frac{W_1 - W_2}{2} \right) \sin \theta \quad (7)$$

式中: δ_x 为 x 方向静态偏差; δ_y 为 y 方向静态偏差。

带入弹性连接器倾斜安装时 xy 方向的最大偏移量,能够得到倾斜安装时在指定方向的偏移量为

$$D_{\max i} = \left(\delta_x + \frac{L_1 - L_2}{D_2} D_1 \right) \cos \theta + \left(\delta_y + \frac{W_1 - W_2}{D_2} D_1 \right) \sin \theta \quad (8)$$

对比倾斜安装时与垂直安装时的指定方向最大偏移量,由于 $D_1/D_2 > 1/2$,所以倾斜安装时在指定方向的偏移量大于垂直安装时在指定方向的偏移量,弹针与焊盘在指定方向的偏移量 X 的最大值为

$$D_{\max} = \left(\delta_x + \frac{L_1 - L_2}{D_2} D_1 \right) \cos \theta + \left(\delta_y + \frac{W_1 - W_2}{D_2} D_1 \right) \sin \theta \quad (9)$$

1.2 弹性连接器弹针最大允许偏移

弹性连接器的弹针压接在印制板焊盘上,当弹针偏移量达到一定程度后,弹针接触到不应该接触的相邻焊盘时,整个系统信号错误或短路。

所以弹性连接器弹针存在最大允许偏移。

图3为焊盘形状示意图。图中圆圈为圆形焊盘, Y 为最近的两个焊盘圆心的直线距离, 偏角 θ 角为最近焊盘圆心连线与 x 方向之间的角度。图4为弹针在焊盘上偏移到短路情况示意图, 图中焊盘之间的小圆就是弹针压接位置。

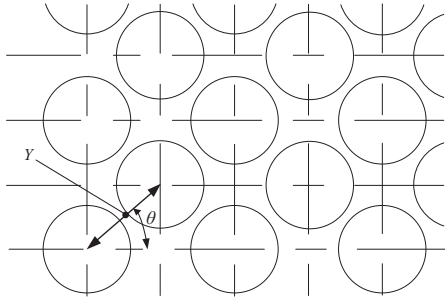


图3 焊盘形状示意图

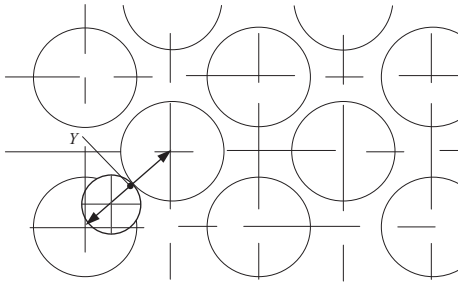


图4 弹针在焊盘上偏移到短路情况示意图

弹性连接器弹针的最大允许偏移 X 可以通过最近焊盘圆心间距、焊盘半径以及弹针半径计算获得。

$$X = Y - R_1 - R_2 \quad (10)$$

式中: Y 为最小焊盘轴心间距; R_1 为焊盘半径; R_2 为弹针半径。

1.3 弹针偏离关系理论模型

为保证系统信号传输的正确, 就要保证弹性连接器弹针不能同时接触两个焊盘, 即需证明弹性连接器弹针在指定方向的实际最大偏移 $D_{\max}$ 小于弹性连接器弹针最大允许偏移 X , 通过计算可以得到

$$\left(\delta_x + \frac{L_1 - L_2}{D_2} D_1 \right) \cos \theta + \left(\delta_y + \frac{W_1 - W_2}{D_2} D_1 \right) \sin \theta < Y - R_1 - R_2 \quad (11)$$

对上述不等式进行换算, 能够得到定位孔深度尺寸与弹性连接器安装空间高度之间的关系为

$$\frac{D_1}{D_2} < \frac{Y - R_1 - R_2 - \delta_x \cos \theta - \delta_y \sin \theta}{(L_1 - L_2) \cos \theta + (W_1 - W_2) \sin \theta} \quad (12)$$

在上述公式中, 定位导向孔深度 D_2 、 x 方向公差间隙 $L_1 - L_2$ 、 y 方向公差间隙 $W_1 - W_2$ 都是可以通过结构设计调整的, 在产品结构设计时, 可以根据实际情况带入以上公式进行运算, 推导相关结构尺寸公差, 进而保障弹性连接器实际安装使用时不会发生因弹针接触相邻焊盘而出现短路的现象。

$(L_1 - L_2)$ 和 $(W_1 - W_2)$ 分别是两个方向定位孔开口尺寸减去弹性连接器长度尺寸, 其值取决于定位孔尺寸公差。一般情况下定位孔两个方向预留间隙相等, 即 $W_1 - W_2 = L_1 - L_2$ 。

一般情况下 y 方向静态偏差 δ_y 与 x 方向静态偏差 δ_x 相等。将 $\delta_y = \delta_x$ 、 $W_1 - W_2 = L_1 - L_2$ 带入不等式运算, 能够得到

$$\frac{D_2}{D_1} > \frac{(L_1 - L_2) (\cos \theta + \sin \theta)}{Y - R_1 - R_2 - (\cos \theta + \sin \theta) \delta_x} \quad (13)$$

其中

$$(\cos \theta + \sin \theta) = \sqrt{2} \sin \left(\theta + \frac{1}{4\pi} \right) \quad (14)$$

带入式(13)中, 能够得到

$$\frac{D_2}{D_1} > \frac{\sqrt{2} (L_1 - L_2) \sin \left(\theta + \frac{1}{4\pi} \right)}{Y - R_1 - R_2 - \sqrt{2} \sin \left(\theta + \frac{1}{4\pi} \right) \delta_x} \quad (15)$$

根据该理论模型得到的不等式可以分析 D_2/D_1 、 $(L_1 - L_2)$ 、 θ 之间的关系。该理论模型可以为弹性连接器结构尺寸相关设计提供理论依据。

2 实例分析

2.1 研究对象

某片式模块中多处使用某 21 芯弹性连接器进行信号传输, 其对应印制板上最近相邻焊盘圆心间距 $Y = 1.063 \text{ mm}$, 焊盘半径 $R_1 = 0.47 \text{ mm}$ 。

弹性连接器尺寸如图5所示。弹针半径 $R_2 = 0.275 \text{ mm}$, 弹性连接器长度尺寸 $L_2 = 6.3_{-0.05}^0 \text{ mm}$, 弹性连接器宽度尺寸 $W_2 = 5.0_{-0.05}^0 \text{ mm}$ 。

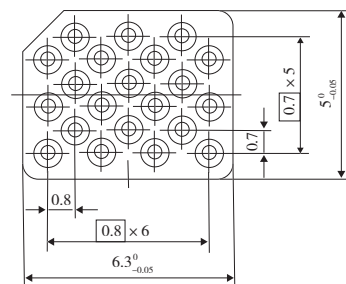


图5 弹性连接器主要尺寸示意图

静态偏差 δ 由加工偏差和安装误差组成,涉及弹性连接器定位孔相对壳体定位孔之间的位置公差、壳体定位孔直径公差、定位销直径公差、印制板定位孔直径公差、印制板焊盘位置与定位孔之间的位置公差。根据实际情况采用概率法^[16-17]计算 x 方向静态偏差 δ_x 能够得到

$$\delta_x = T_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2} = 0.09 \quad (16)$$

y 方向静态偏差 δ_y 与 x 方向静态偏差 δ_x 相等。

综上所述可以得到该实际情况的计算尺寸,如表 1 所示。

表 1 计算尺寸表		单位:mm
参数	数值	
最近相邻焊盘圆心间距 Y	1.063	
焊盘半径 R_1	0.470	
弹针半径 R_2	0.275	
弹性连接器长度尺寸 L_2	$6.3_{-0.05}^0$	
弹性连接器宽度尺寸 W_2	$5.0_{-0.05}^0$	
δ_x	0.09	
δ_y	0.09	

2.2 导向孔结构尺寸公差设计

根据上述研究对象,将计算尺寸表中数值带入不等式中,能够得到

$$Y - R_1 - R_2 = 0.318 \quad (17)$$

$$\frac{D_2}{D_1} > \frac{\sqrt{2}(L_1 - L_2) \sin\left(\theta + \frac{1}{4\pi}\right)}{0.318 - \sqrt{2} \sin\left(\theta + \frac{1}{4\pi}\right) \times 0.09} \quad (18)$$

根据得到的不等式可以分析 D_2/D_1 、 $(L_1 - L_2)$ 、 θ 之间的关系。设置不同的定位孔公差会得到不同的 $(L_1 - L_2)$ 值,若 $L_2 = 6.3_{-0.05}^0$, 则 $(L_1 - L_2)_{\max} = 0.1$ 。带入不同的偏角 θ 值以及 $(L_1 - L_2)$ 值计算,得到表 2。

表 2 导向孔长度比 D_2/D_1 计算值

$(L_1 - L_2)/\text{mm}$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 60^\circ$
0.06	0.267	0.353	0.420	0.447	0.420
0.08	0.356	0.471	0.560	0.595	0.560
0.10	0.444	0.589	0.701	0.744	0.701
0.12	0.533	0.707	0.841	0.893	0.841
0.14	0.622	0.824	0.980	1.041	0.980

根据表 2 绘制导向孔长度与安装空间高度空间之比 D_2/D_1 在不同角度时随安装导向孔与弹性连接器之间间隙 $(L_1 - L_2)$ 变化的曲线如图 6 所示。根据曲线图能够发现,导向孔长度随导向孔公差间隙线性变化。当间隙增大时,导向定位孔所需最短长度变大。

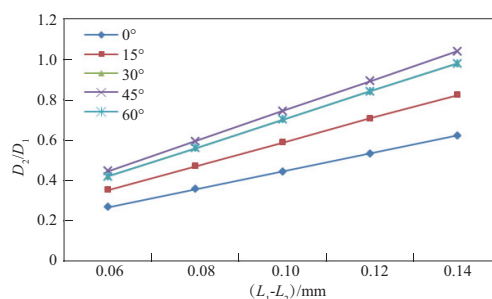


图 6 导向孔长度比随间隙变化

根据表 2 绘制导向孔长度与安装空间高度空间之比 D_2/D_1 在不同公差间隙情况下随偏角 θ 变化的曲线如图 7 所示。根据曲线图,能够发现导向孔长度比 D_2/D_1 随 θ 先增大后减小,在 $\theta = 45^\circ$ 时,导向孔长度比取得最大值,即在 $\theta = 45^\circ$ 时导向定位孔所需最短长度最大。

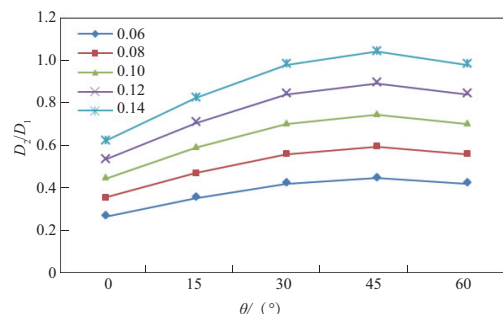


图 7 导向孔长度比随偏角变化曲线

3 结语

本文分析了弹性连接器盲配安装情况,并根据实际情况提出了一种新的结构公差分析方法。首先分析建立弹性连接器弹针偏离尺寸与结构尺寸关系的理论关系公式,再结合最大允许偏离尺寸关系式,建立弹性连接器结构设计理论模型。通过理论模型可以分析推导弹性连接器定位结构最大尺寸公差、导向结构最小长度比以及偏角等各参数之间的关系。也可通过带入实际参数判断盲配结构设计尺寸公差是否合理可靠。

该理论模型为电子设备弹性连接器盲配安装结构设计提供了理论依据和核算准则。

- [1] 韩长喜,邓大松,王虎,等. 2022 年雷达技术发展综述[J]. 中国电子科学研究院学报, 2023, 18(2): 108-112.
- [2] 刘尚争. 未来雷达探测发展重点[J]. 现代雷达, 2022, 44(2): 102-103.
- [3] 高环. 现代相控阵雷达技术发展[J]. 现代导航, 2023, 14(5): 368-375.
- [4] 刘伟涛,聂镇武,孙帅. 量子雷达技术的发展现状及趋势[J]. 国防科技, 2023, 44(4): 5-22.
- [5] 左堃罡,夏善涛,徐杰,等. 某型雷达天线举升机构设计及精度分析[J]. 机械制造与自动化, 2025, 54(1): 76-80.
- [6] 陈光毅,张若愚,任红,等. 基于全息超表面天线的雷达通信一体化波束成形设计[J/OL]. 雷达学报, (2025-04-17) [2025-05-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1030.TN.20250417.1343.004.html>.
- [7] 陆萍萍,高瑶,孟听雨,等. 合成孔径雷达月球探测研究进展[J]. 遥感学报, 2025, 29(2): 342-361.
- [8] 袁海平,毛桢希. 大型相控阵雷达结构造型设计[J]. 现代雷达, 2025, 47(1): 96-99.

- [9] 肖前循,许海玉,张宏伟,等.星载微波云、降水雷达技术现状与展望[J].遥测遥控,2024,45(6):11-20.
- [10] 麻力,黄然,王爽,等.国内外毛纽扣接触件产品和技术水平综述[J].标准科学,2022(增刊1):254-259.
- [11] 王辉,徐榕青,董乐,等.基于弹性连接器的板级垂直互连技术[J].电子与封装,2020,20(12):24-27.
- [12] 徐浩浩,孟祥鹏,雷前,等.弹性连接器组件研究现状及进展[J].铜业工程,2023(3):90-96.
- [13] 王雪亚,张欣羽.一种小型多芯高密度低频弹性连接器的设计[J].机电元件,2022,42(2):3-6.
- [14] 刘贲,李江,乔正阳,等.基于毛纽扣的垂直互连技术研究进展[J].精密成形工程,2023,15(2):209-217.
- [15] 滕鲁,喻忠军.一种基于毛纽扣的垂直互联结构[J].电子设计工程,2019,27(21):156-159.
- [16] 李玉红.基于公差分析的机械零件设计准则[J].机械工业标准化与质量,2024(12):44-46.
- [17] 高瑞,赵文军,马涛,等.基于3DCS的大型结构件尺寸公差分析与优化[J].新技术新工艺,2020(1):24-28.

收稿日期:2023-09-04

- [10] ZHAO Y L, HE X M, XIAO J K, et al. Effect of cavity-air injection mode on the performance of a trapped vortex combustor [J]. Aerospace Science and Technology, 2020, 106: 106183.
- [11] 曾卓雄, 张永祺, 张龙. 旋流对驻涡燃烧室湍流流动的影响[J]. 热科学与技术, 2020, 19(2): 139-145.
- [12] 王志凯, 曾卓雄, 徐义华, 等. 导流片结构参数对先进旋涡燃烧室性能影响研究[J]. 推进技术, 2015, 36(3): 405-412.
- [13] JIANG B, JIN Y, LIU D, et al. Effects of multi-orifice configurations of the quench plate on mixing characteristics of the quench zone in an RQL-TVC model[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2017, 83: 57-68.
- [14] CLARK N A, POLANKA M D, BOHAN B T, et al. Design and application of a trapped-vortex compact combustor in a small-scale JetCat engine[C] // AIAA SCITECH 2022 Forum. San Diego, CA & Virtual. Reston, Virginia: AIAA, 2022: 2061.
- [15] 李明玉. 驻涡燃烧室油气组织方法研究[D]. 南京:

[16] JIN Y, HE X M, ZHANG J Y, et al. Numerical investigation on flow structures of a laboratory – scale trapped vortex combustor [J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 66(1/2) : 318-327.

[17] GONG C, ZHAO S F, CHEN W Q, et al. Numerical study on the combustion process in a gas turbine combustor with different reference velocities [J]. Advances in Aerodynamics, 2023, 5(1) : 24.

[18] MEIER U, HEINZE J, FREITAG S, et al. Spray and flame structure of a generic injector at aeroengine conditions [C] // ASME 2011 Turbo Expo: Turbine Technical Conference and Exposition, Vancouver, British Columbia, Canada: [s.n.], 2012; 61-72.

[19] IHME M, SHUNN L, ZHANG J. Regularization of reaction progress variable for application to flamelet – based combustion models [J]. Journal of Computational Physics, 2012, 231(23) : 7715-7721.

收稿日期:2023-09-25