

# 航天产品电连接器压接工艺分析及改进

陈雨田 陈峰 杨鹏伟 李硕 张兰

(北京新风航天装备有限公司, 北京 100854)



**摘要:** 以微矩形电连接器为例, 详细介绍了航天产品中压接装配工艺流程及工艺方法, 分析了工艺方法中可能出现的问题, 并讨论了解决方案。同时, 将现行工艺方法与 GJB5020—2001《压接连接技术要求》标准要求进行了对比, 分析了标准中现有方法的不足之处并加以改进。

**关键词:** 航天产品; 微矩形连接器; 压接

**中图分类号:** TJ05 **文献标识码:** A

## Analysis and Improvement of Crimping Process of Electrical Connectors for Aerospace Products

Chen Yutian Chen Feng Yang Pengwei Li Shuo Zhang Lan

(Beijing Xinfeng Aerospace Equipment Co., Ltd., Beijing 100854)

**Abstract:** Taking the micro-rectangular electrical connector as an example, this paper introduces the process flow and process method of crimping assembly in aerospace products in detail. The possible problems in the process method are Analyzed, and the solutions also discussed. At the same time, the current process method is compared with the standard rules of GJB5020—2001 “Technical rules for Crimp Connection”, and the deficiencies in the current methods in the standard are discussed and improved.

**Key words:** aerospace; products micro-rectangle connector; crimping

### 1 引言

压接是指在自然环境下, 采用压接工具或设备, 使一种金属(导线线芯)与被连接的金属件(连接器插针插孔)发生机械挤压塑性变形而形成金属组织一体化的一种工艺方法<sup>[1]</sup>。在现有的军品压接生产工艺中, 主要的标准文件有 GJB5020—2001《压接连接技术要求》。在这份标准中, 对工件(金属压接件、导线)和工具的材料、导线和压接件的匹配、导线与金属压接件的压接位置、所需要满足的外观、电压降、耐拉力、金相试验等各个方面给出了规范要求, 是压接操作的重要参照标准<sup>[2]</sup>。

航天产品质量就是生命。因此, 对于压接操作的质量控制要求较 GJB5020—2001《压接连接技术要求》更高。本文将详细介绍在航天产品生产过程中采用的工艺

方法及质量控制要求。

### 2 电连接器压接通用工艺流程

通用的连接器压接工艺流程包括导线材料选择、压线筒材料选择、压接钳的校验(拉力试验与金相试验)、导线端头处理、压接件压接、压接件入位、打底胶固定、针孔调平、连接器固封等工序。流程如图 1 所示, 压接件典型压接装配结构示意图如图 2 所示。

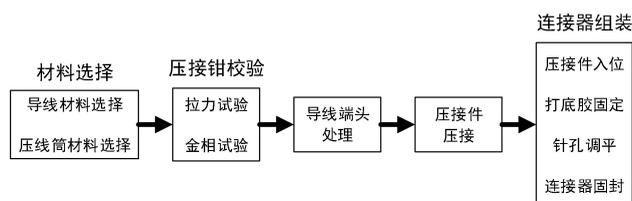


图 1 连接器压接工艺流程

作者简介: 陈雨田(1988), 工程师, 电子与通信工程专业; 研究方向: 弹上电气电装工艺技术。

收稿日期: 2022-03-27

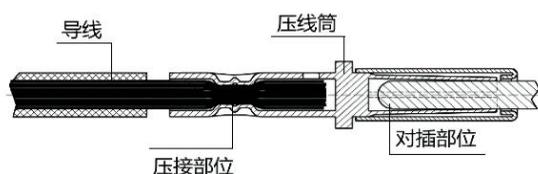


图2 压接件典型压接装配结构示意图

### 3 工序工艺方法分析

#### 3.1 导线材料选择

GJB5020—2001 对于导线材料的要求为镀银铜芯多股绞合线，限制使用镀锡或镀镍导线。导线线芯材料的硬度和压接件材料的硬度应相近<sup>[3]</sup>。

通过对近年来因导线压接造成的质量问题归类分析后发现，导线线芯股数与压接质量之间存在着一定的联系。统计质量问题数，并按照所使用导线线芯股数分类，结果见表1。

表1 近几年与导线压接有关压接质量问题统计

导线规格(股数/直径)	导线线径/mm <sup>2</sup>	质量问题数	质量问题发生原因	质量问题占比/%	质量问题发现环节
7/0.14	0.1	2	导线线芯受损、压接后导线断裂	15	自互检
7/0.16	0.14	7	压接点进胶、导线断裂	54	应力筛选
19/0.1	0.15	3	导线压接不可靠、压接点进胶、导线断裂	23	应力筛选
30/0.08	0.15	1	导线线丝刺出	8	绝缘测试
19/0.12	0.2	0	/	/	/
42/0.08	0.2	0	/	/	/
19/0.16	0.3	0	/	/	/
62/0.08	0.3	0	/	/	/
总计		13	/	100	/

根据表1统计，当导线为7股绞合线时，其所产生的压接质量问题数占所有导线压接质量问题的69%，是19股及以上股数绞合线质量问题的2倍多。通过对故障现象及工艺过程分析后发现，当导线线芯为7股时，导线股数较少、单根线丝的直径相对较大、柔软性更差，压接好的导线在后续操作或使用中，容易造成导线线芯断裂。因此，为了保证压接可靠性，在实际工作中压接使用的导线应优先选用19股或以上镀银铜导线。

#### 3.2 压接件的选择

压接件的材料一般为铜或铜合金，应优先选用符合国军标或行业标准的压接件。比如：黄铜、铍青铜等。压接件应有良好的形变塑性，在受到压接钳挤压过程中，不应该出现裂纹、缺角、断裂等现象。

在某批次产品生产过程中，金相试验时发现有部分试验压接件在经过压接钳挤压后，出现了裂纹现象。在联合厂家分析和试验验证后，认为导致压接件因压接出现裂纹等现象的原因有以下几点：

a. 原材料问题：原材料纯度不够或者存在杂质，导致压接件机械性能下降出现裂纹；

b. 制作公差问题：当压接件生产公差偏上限时，在压接适配范围内线径较小的导线，压接件受到挤压

后的塑性变形量增大，容易出现裂纹、断裂等现象。当加严公差管控后，裂纹现象消失；

c. 生产工艺问题：某些规格压接件会在压接件后端制作观察孔。由于观察孔位置结构强度低，导致在受到挤压后，压接件出现裂纹现象。

#### 3.3 压接钳的校验

压接钳在使用前，必须经过校验。压接钳的校验主要通过拉力试验和金相试验控制。拉力试验与金相试验相互配合，相互印证，只有两项试验均满足要求，压接钳的校验才能算合格。

##### 3.3.1 拉力试验

在GJB5020—2001中，对于拉力试验主要是通过规定不同导线截面积和最小耐拉力值确定压接是否可靠，见表2。

国军标所规定的方法为满足拉力的最小标准要求，在实际使用过程中会存在以下几个问题：无法辨别不同厂家、不同牌号导线之间的差异；无法辨别同种导线、不同生产批次之间的质量差异。

因此，在实际使用过程中优化了工艺方法以避免上述弊端。以常见的DMC压接钳M22520/2-01为例，拉力试验具体操作方法如下：

表2 GJB5020 中导线截面积与最小拉力值的关系

导线截面积/mm <sup>2</sup>	最小耐拉力/N	
	镀银或镀锡铜线	镀镍铜线
0.1	16	10
0.2	34	22
0.3	51	33
0.35	60	39
0.4	68	44
0.5	85	56
0.75	129	88
0.8	138	95
1.0	172	122
1.2	206	150
1.5	248	185
2.0	300	260
2.5	375	325
3.0	450	399
4.0	600	532

- 选定需要压接的导线规格及压接件规格；
- 对导线做三次（或更多次，此处以三次为例）拉力试验，直至导线断裂，记录三次导线断裂时的拉力值  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ ；
- 计算导线断裂拉力值的平均值： $\bar{a}=(a_1+a_2+a_3)/3$ ；
- 计算导线压接后需要达到的最小拉力值： $b_{\min}=\bar{a}\times 0.8$ ；
- 选定经验档位  $m$ ，以及  $(m-1)$  档和  $(m+1)$  档，分别将导线和压接件压接，制作成拉力试验件，每个档位压制作 3 个拉力试验件；
- 对三个档位 9 个拉力试验件分别做拉力试验，观察拉力试验情况；

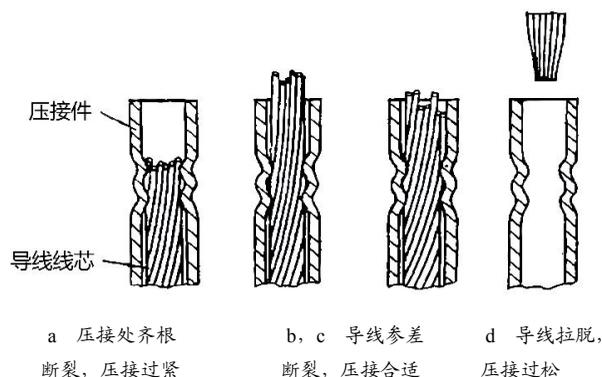


图3 拉力试验断裂截面图

- 选取实际拉脱力大于  $b_{\min}$  且断裂面为参差不齐状态的拉力试验件（以图 3b、图 3c 断裂情况为佳），

记录其档位  $n$ 。如有多个档位均满足要求，则将多个档位都选取，进入金相试验。

### 3.3.2 金相试验

a. 每个满足拉力试验步骤 g 条件的档位，再次取相同批次和规格的 1~3 根导线和压接件，制作成拉力试验件，开展金相研磨试验。

b. 观察金相试验结果（如图 4 所示），金相状态应满足以下几点要求（具体形貌见 GJB5020—2001 附录 E）：压接件压坑位置金属截面，变形应均匀，无杂质；试验件与导线线芯截面均发生变形；导线与压接件之间所有空隙面积小于导线所占总面积的 10%；变形后的压线角及镀层应无破损。

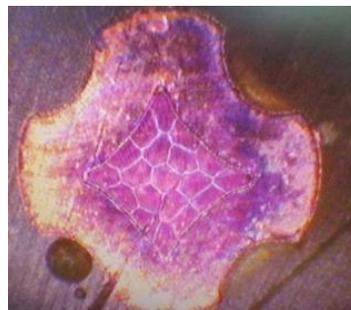


图4 金相试验

c. 在金相试验均满足 GJB5020—2001 的多个金相试验件中，选取拉力试验中拉脱力较大的档位  $p$ ；

d. 使用选定的档位  $p$ ，再次取相同批次和规格的 1~3 根导线和压接件，制作成拉力试验件进行拉力试验验证。验证拉力值需要均满足大于  $b_{\min}$ ，且断裂面为参差不齐状态，方可判定为合格。相应的档位  $p$  即可作为该压接件的压接档位。

e. 如果有一项或者几项试验结果，不能满足要求，则需要重新开展所有试验，直到满足以上所有判定要求。

### 3.3.3 压接钳校验总结

优化后的压接钳校验方法优点：

a. 获取每批次导线拉断实际拉力，可以排除因导线规格牌号不同或者同种导线规格、不同厂家产品差异性，确保导线与压接件在选定压接档位时的匹配性；

b. 要求拉脱力值大于  $b_{\min}$  且导线的断裂形貌要求参差不齐断裂，可以避免因档位选择过松或者过紧带来的质量隐患；

c. 确认金相实验结果，确保压接线和导线受力均匀，连接可靠；空隙率小可有效避免固封时，胶液渗入导致接触不良问题<sup>[3]</sup>；

d. 拉力试验和金相试验均合格后,再次验证 1~3 个压接件的拉力值,排除试验过程中引入的其他偶然因素。

### 3.4 导线端头处理

GJB5020—2001 中,对于导线端头处理也有着非常详细的规定。附录 A 给出了导线端头合格和不合格的图示。

在现有工艺方法中,导线端头处理方法为:使用热剥钳将导线外绝缘层烫开,将外绝缘层去除。虽然在工艺文件及操作细则中,详细规定了热剥钳刀口的选用及操作手法,尽量避免热剥钳刀口划伤导线线芯。但是,在处理耐高温绕包线时,依旧容易出现热剥钳刀口划伤导线的情况。

利用非金属材料对 CO<sub>2</sub> 激光吸收系数高,而金属材料对 CO<sub>2</sub> 激光吸收系数低的特点,采用 CO<sub>2</sub> 激光剥线导线端头处理方法来彻底消除热剥钳口损伤导线的问题<sup>[4]</sup>。各种材料对 CO<sub>2</sub> 的吸收率见表 3。

表 3 各种材料对 CO<sub>2</sub> 激光的吸收率

名称	吸收率/%
Ag	<1.55
Cu	<1.55
聚酰亚胺	>90
聚四氟乙烯	>90

相较手工处理,使用激光剥线机好处:尺寸控制更加精确;不容易出现绝缘层切除不齐或拉丝现象;集中导线处理更加高效;对于导线线芯更加安全。但是,激光剥线工艺对透明外绝缘层和具有网状屏蔽层的导线不适用。

### 3.5 接插件压接

#### 3.5.1 压接件与导线匹配关系

表 4 常见压接件与导线规格匹配关系

序号	连接器压接件	匹配导线规格/mm <sup>2</sup>	序号	连接器压接件	匹配导线规格/mm <sup>2</sup>
1	J30J	0.1~0.15	7	CDB	0.14~0.3
2	J30JZ	0.1~0.15	8	MDM1	0.08~0.1
3	J30	0.14~0.3	9	MDC1	0.08~0.1
4	J29	0.14~0.3	10	J599(#22D)	0.08~0.35
5	J29A	0.14~0.3	11	KZ038-2D	0.14~0.3
6	J40	0.14~0.3	12	J30D1	0.15~0.3

在选用导线和压接件时,需参考各个连接器厂家手册对于连接器可适配线径的技术说明。原则上,一个压接件内只压接一根导线,若有特殊要求,一个压

接件内最多允许压接两根导线,且两根导线的线芯材质与镀层应相同,线芯结构相近,较细导线的芯线截面积不应小于较粗导线线芯截面积的 60%。表 4 列出了常见的连接器压接件与导线规格匹配关系。

#### 3.5.2 压痕位置

对于接插件的压接,GJB5020—2001 中给出了明确的图示,并且给出了导线压接后,导线绝缘层与压接件根部距离要求。如图 5 所示。

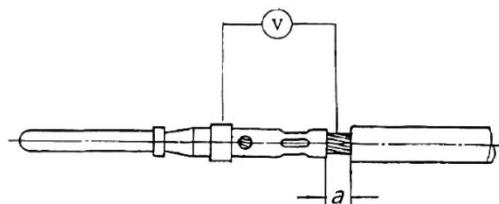


图 5 导线压接示意图

$a$  应该满足  $0 \leq a \leq 1\text{mm}$ 。该尺寸主要有三个作用:便于压接后的压接电阻测量(线压降测量);避免导线绝缘层进入压接件内,造成压接质量问题;给导线预留了一个应力空间,避免了后续操作造成导线断裂。

压接点压坑的位置也对整个导线压接的质量起着重要作用。当压坑过于靠近压接件根部时,可能会导致压接件根部变形,容易导致导线在压接件根部断裂;当压坑距离压接件根部过远时,又有可能因为压接位置过于靠前,压接到导线金属丝端头或以外区域,造成导线未能有效与压接件挤压。

通过大量的生产实践,对于压接点位置的控制遵循以下标准:压坑边沿距压接件根部距离  $(0.5 \pm 0.3)\text{mm}$  为佳,在此距离范围之内,能够确保导线压进压接件且压接件形变不会传递到压接件根部,避免因压接件根部变形造成导线线芯断裂。

### 3.6 连接器组装

#### 3.6.1 压接件入位

在电连接器组装过程中,需要将压接好导线的压接件按照图纸要求,依次放入到连接器基座中,配合灌封夹具,使压接件插入后能够保持竖直状态。在实际操作过程中,由于压接件尾部连接着长短不等的导线,在重力的作用下,导线会拉拽入位好的压接件,使压接件无法保持竖直状态。

为了解决此问题,此前的做法是:逐一调整放入的压接件,使其大致竖直,然后灌注少量环氧树脂类胶液,在环氧树脂类胶液变为粘稠状时,及时再次逐

(下转第 76 页)

一调整压接件，直至所有压接件均目测竖直后，静置直到环氧树脂胶固化，完成连接器制作。在此过程中，对于操作者的技能要求和经验要求较高：

a. 能够在粘稠的胶液中，对压接件逐一校正而不影响其他相邻压接件；

b. 能够判断合适的时机调整压接件；如果太早，胶液尚未粘稠，则校正后的压接件依然可能因导线的拖拽，导致歪斜；太晚，胶液已经过于黏稠，则无法实现压接件的校正；

针对这个问题，我们提出了采用速干胶固定压接件的方法。即依靠速干胶的固定，使压接件能够直接达到压接件合适位置，且不易松动。

使用粘接剂存在以下弊端：粘接剂用量必须控制好，使用针尖或细铁丝浸润后，沾于压接件根部，切不可多用，容易造成连接器堵塞。粘接剂固化后，会形成白色粉末，因此，在制作完成后需要使用软毛刷清理连接器对插面。

### 3.6.2 连接器固封

所谓固封，就是用环氧树脂胶将连接器内的压接件固定并将连接器根部灌满密封起来，起到固定和保护压接部位的作用。通常使用的固封胶有 DG-3S、DG-4、HY-914 等。

固封时，需要注意使用的环氧树脂胶不得渗漏到压接连接器对插面，造成连接器针孔的损坏<sup>[5]</sup>。一般有以下几种处理方法：

a. 通过金相试验，挑选金相试验缝隙小的压接档位，避免固封胶渗入到压坑部位；

b. 采取分层固封技术。若压接件根部高于连接器基座，第一层固封胶不高于压线筒口高度，确保在调针

阶段胶液不进入压线筒中；若压接件根部与连接器基座平齐或者低于连接器基座，则一层固封胶灌注厚度约为 1mm 左右。此后每层固封胶灌注厚度不大于 3mm，使其快速凝固，减少胶液内渗时间；

c. 对于 DG-4 胶，可以添加少量气法相二氧化硅（白炭黑），使其变得更加粘稠，使用注射器慢慢灌注，使用注射器针头或细铁丝等，挑出灌注中形成的气泡，使固封胶胶体饱满无空腔，保证固封质量。

## 4 结束语

从压接件和导线材料的选用、采用更为严格的压接钳校验方法、激光剥线方式导线端头处理、预粘接方式固定压接件、分层固封技术等工艺流程和方法，有针对性地分析和优化了生产过程中容易出现质量问题的步骤，并与 GJB5020—2001《压接连接技术要求》中的要求对比。优化后的工艺方法使电连接器压接生产难度下降、质量可靠性上升、生产效率同步提升。

## 参考文献

- 1 徐英. 压接连接工艺技术研究[J]. 电子工艺技术, 2005(26, 1): 21~23
- 2 GJB 5020—2001 压接连接技术要求[S]
- 3 张伟, 王玉龙, 王羚薇. J30J 系列压接微矩形电连接器装配工艺[J]. 电子技术与软件工程, 2020(7): 103~105
- 4 张琴, 刘双宝, 施英莹, 等. 聚酰亚胺绝缘层导线激光剥线工艺研究[J]. 电子工艺技术, 2019(40, 2): 116~119
- 5 罗云章. J30J 压接连接器接触不良故障研究[J]. 电子质量, 2020(2): 22~24