

文章编号: 2095-4980(2014)06-0942-04

某高压电连接器的失效分析

何志刚, 周庆波, 龚国虎, 梁栋程, 王晓敏

(中国工程物理研究院 计量测试中心, 四川 绵阳 621999)

摘要: 针对某型号高压电连接器在电压冲击试验中的失效现象, 进行失效分析。分析手段包括 X 射线检查、内部检查和金相分析等。检测发现该元件存在多芯导线压接损伤、剥线损伤等缺陷。根据该高压电连接器的失效模式和各项检测结果, 分析得出了其失效机理。最后, 在元件设计、工艺控制、质量监控方面提出了改进建议。建议实施后该元件通过了各项检测, 质量可靠性得到了提升。

关键词: 高压电连接器; 失效分析; 失效机理; X 射线检查

中图分类号: TN605

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201406.0942

Failure analysis of a high voltage electric connector

HE Zhi-gang, ZHOU Qing-bo, GONG Guo-hu, LIANG Dong-cheng, WANG Xiao-min

(Metrology and Testing Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: The failure phenomenon happened in a certain model of High-Voltage Electric Connectors (HVEC) after voltage impulse testing is studied by applying testing methods of x-ray inspecting, internal checking, metallographic analysis, etc. The testing results reveal that several defects including multicore wire crimping damage and wire stripping injury are found in these devices. According to their failure mode and testing outcomes, the failure mechanism is analyzed and many reasonable improving approaches from the aspects of devices design, processing control and quality monitoring are suggested. After implementing these recommendations, the newly manufactured high-voltage electric connectors can pass all the examining items and their reliabilities are greatly enhanced.

Key words: High Voltage Electric Connector; failure analysis; failure mechanism; X-ray inspection

电连接器是电子系统工程中重要的配套接口元件, 广泛应用于各个电子系统中^[1-3], 是电信号和能量的接口元件, 负责电信号和能量的传输^[4]。高压电连接器则是负责高压电信号的传输, 是电子系统的重要件及关键件^[5]。高压电连接器失效, 将导致整个系统故障瘫痪, 甚至使得整个系统损坏^[6]。然而, 高压电连接器常常由于自身零部件多、应用环境苛刻(高电压、大电流)等因素, 其可靠性难以得到保证, 使用中易产生失效^[7]。对高压电连接器开展失效分析, 不仅可以有效地找出其失效原因, 还能帮助改进其元件设计、工艺控制、质量监控等方面的不足。电子技术发展和现代战争要求电子战装备日趋一体化和通用化^[8], 这对电子元器件质量可靠性提出了更高的要求。本文通过对某高压电连接器的失效样品进行失效分析, 找到失效机理, 提出改进建议, 最终解决了该高压电连接器的失效问题, 提高了该元件的质量可靠性。

1 元件结构及制作工艺

1.1 元件结构

某型号高压电连接器结构如图 1 所示, 该元件主要由 5 个部分组成: 外壳、灌封料(绝缘体)、插针(接触件)、压接紧固件和多芯导线(表面镀银的铜导线)。外壳的作用是灌封料和插针的机械保护, 并保证接插对准, 同时金属外壳还提供了接地屏蔽功能; 灌封料起绝缘和固定插针的作用; 插针是电连接器的接触件, 是与插头连接的部件(插针尺寸如图 2 所示); 压接紧固件是插针与导线连接的过渡件, 它通过机械压接的方式将多芯导线和

插针连接起来;多芯导线是电连接器外接电信号的通路。

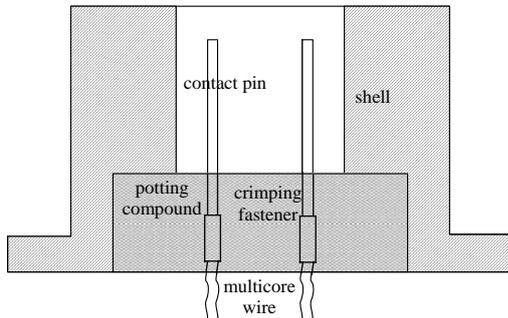


Fig.1 Structure chart of HVEC
图 1 某型号高压电连接器结构图

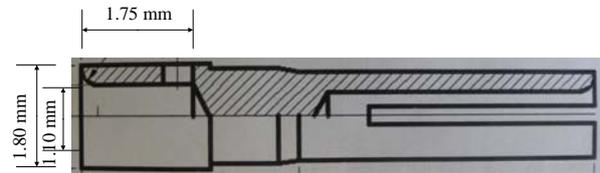


Fig.2 Dimension of contact pin
图 2 插针尺寸

1.2 元件制作工艺

制作工艺流程为:剥线,用剥线钳对多芯导线进行剥线,使多芯导线露出足够的导线;穿线压接,将剥好的多芯导线插入压接紧固件,通过压接钳(压接钳的压力大小由工人掌握)使压接紧固件(其边缘未作处理,是锋利的直角边界)将多芯导线压接紧,压接点在紧固件的末端;灌封,将两插针分别定位至外壳中,加入灌封料冷却成型。制作过程中,剥线、穿线和压接均由人工手动完成。剥线中易产生剥线钳划伤,穿线时易产生穿线深度不够和导线芯松散不齐。压接时由于紧固件边缘锋利和工人力道控制不好等原因容易产生导线压伤。与此同时缺乏各道工序的过程控制和质量监测,以上两点使得元件容易产生缺陷。

2 失效模式

该高压电连接器的工作电压为数千伏,在进行高电压冲击实验时部分样品在压接紧固件与多芯导线界面处断裂或烧毁,断裂导线有高温烧毁痕迹。

3 样品分析检测

对失效样品进行 X 射线检查和内部目检。X 射线照片如图 3 所示,其中一根多芯导线已完全脱落,而另一根多芯导线则完好。损坏一侧的压接紧固件内部形貌如图 4 所示,压接紧固件内部空腔明显变窄,并且有残存的导线。内部目检更加直观地观测到压接紧固件由于高温而致使内腔变形,如图 5 所示。

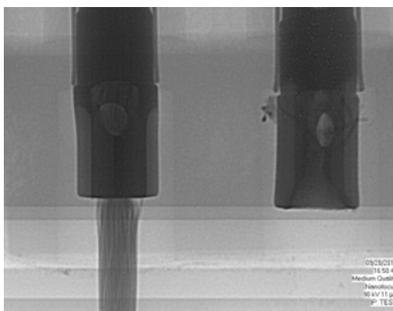


Fig.3 X-ray photograph of a failure sample
图 3 失效样品 X 射线照片

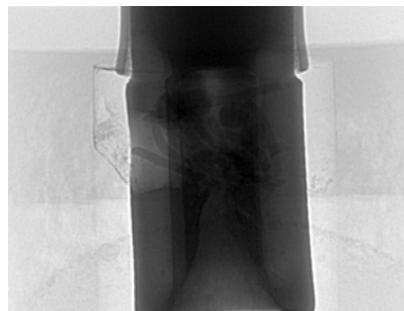


Fig.4 X-ray photograph of damaged side crimping fastener
图 4 损坏一侧压接紧固件 X 射线照片

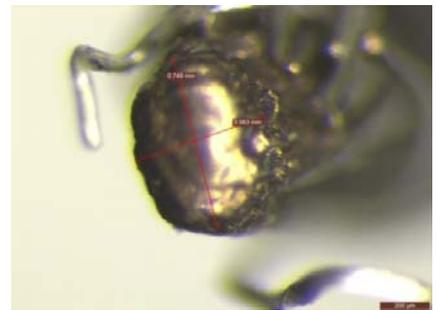


Fig.5 Metalloscope photograph of damaged side crimping fastener
图 5 损坏一侧压接紧固件金相照片

图 6、图 7 为未损坏的压接紧固件与多芯导线的金相照片。照片显示压接紧固件与多芯导线压接处导线被压断或有明显的压痕,压伤使导线的内层金属铜暴露。在紧固件与导线压接处附近多芯导线出现多处整齐的划伤,且均已露出内层铜,这些划伤为剥线钳剥线损伤。

通过对同批次其他完好的元件检查发现,压接紧固件和导线压接处均有明显的压伤,甚至部分导线丝已经断裂;并且在压接点附近,有许多剥线钳导致的切痕。另外,对同批次元件检测还发现如下 2 种缺陷:导线插入压

接紧固件套管深度不够(图 8 所示), 以及导线松散而未能全部插入紧固件套管(图 9 所示)。通过以上检测可以直接得出的结论是, 该元件存在导线压接伤痕、导线剥线钳伤痕等多种缺陷, 这些缺陷均是批次性缺陷。

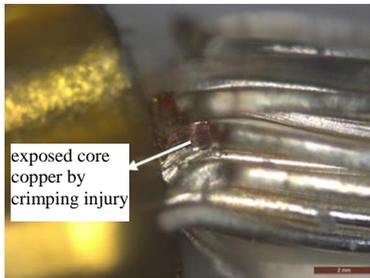


Fig.6 Multicore wire crimping injury on fastener undamaged side
图 6 未损坏一侧紧固件对多芯导线的压伤

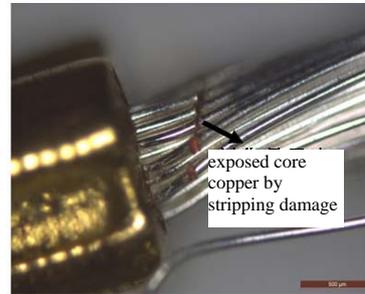


Fig.7 Wire stripping damage on multicore wire
图 7 多芯导线剥线钳划伤

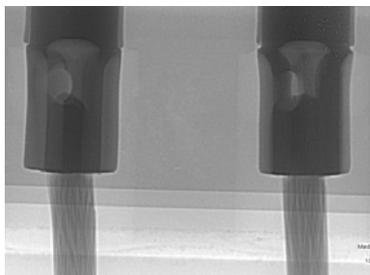


Fig.8 Crimping fasteners with wire not fully inserted into tubes
图 8 导线未完全插入的压接紧固件套管

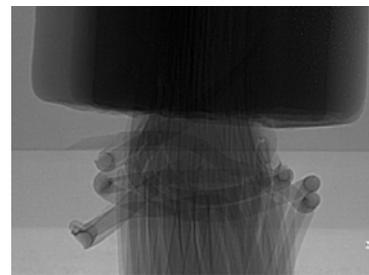


Fig.9 Wires are too scattered to be entirely inserted into tuber
图 9 导线松散未能全部插入套管

4 失效机理分析

电连接器内电阻主要是压接紧固件与导线之间的接触电阻 R 。理想情况下接触电阻可以由式(1)^[9]表达:

$$R = R_c = \frac{\rho}{2 \sum a_j} \quad (1)$$

式中: R_c 为收缩电阻; a_j 为导电斑点直径; ρ 为金属的电阻率。

假设每个导电斑点直径均为 a_0 , 总共有 n 个导电斑点, 则式(1)变为:

$$R = R_c = \frac{\rho}{2na_0} \propto \frac{\rho}{n} \quad (2)$$

由式(2)不难发现, 接触电阻 R 正比于金属的电阻率 ρ , 反比于接触导电斑点的个数 n 。元件的缺陷包括银镀层破坏, 使得接触金属部分由银变为铜, 致使电阻率变大; 而导线被压断、剥线损伤、导线插入深度不够等缺陷致使导线和套管接触面积减小(实质是接触导电斑点的个数 n 减少)。很明显, 所有缺陷均导致该电连接器自身电阻增加, 故接触电阻两端电压 U 变大。电压增加使得发热量大幅增加(因为热量正比于 U^2), 集中的热量使得压接紧固件及其中的导线温度迅速升高。另一方面, 导线自身的压接损伤和剥线损伤使得其承受温升的能力下降, 最终导线在压接紧固件的压接损伤点附近断裂, 导致电连接器失效。

综上所述, 该电连接器在加压试验中失效的原因是, 元件自身的缺陷导致电阻增加, 使得分压变大, 致使元件大量发热, 这些能量最终导致元件导线断裂而失效。

5 改进建议及效果展示

可以看出, 该型号电连接器有 2 类缺陷来源: 设计和工艺控制。根据缺陷产生的原因和实际应用环境提出了 5 点改进建议, 改进建议如表 1 所示。同时, 增加了产品 100% X 射线检查筛选程序。

改进建议实施后, 该高压电连接器质量大幅提升。多芯导线的压接损伤消失, 压接紧固件孔径增大改善了穿线质量, 观测窗口使穿线深度得到了很好的控制, X 光筛选剔除有剥线划伤的样品。以上改进使得该高压电连接器顺利通过各种测试并投入使用。改进后产品的 X 光照片如图 10 所示。

表1 某型号电连接器缺陷及改进建议
Table1 Defects in a certain model of electric connectors and relative improving recommendations

No.	defects	defect sources	improving recommendations
1	the effective length of the crimping fastener is 1.75 mm, while the specified length in GJB142A-94 should be at least 3.58 mm	design	suitably increase the length of crimping fasteners
2	the bore diameter of the crimping fastener is almost equal to the multicore wire dimension, which makes it difficult to insert wires in	design	suitably increase the bore diameter
3	the crimping point is at the fastener rail and has been tightly pressed, which has caused wire fracture or damage	processing control	replace crimping tool by a new one which has adjustable pressure. moreover, change the crimping point onto the middle of the fastener
4	wire stripping damage	processing control	reinforce processing control and add external visual inspection, for the purpose of rejecting wire stripping damage
5	wires have not been entirely inserted into the crimping fastener	processing control	add examining position and external visual inspection approach on the fastener, in order to ensure the completely wire insertion

6 结论

本文对某型号电连接器开展失效分析,运用X射线检查、金相显微镜检查等手段,对失效样品和同批次完好样品进行检测,查清了该样品的失效模式,分析得出了它的失效机理。根据失效机理对元件的设计、工艺及筛选等方面提出了改进建议。改进建议被采纳后提高了该元件的质量可靠性,使其顺利通过各项检测并投入使用。由此可见,高压电连接器开展失效分析可以通过对失效模式和失效机理的分析,在该产品的设计、工艺、结构甚至筛选手段等方面提出有效的改进建议,从而提升产品的质量可靠性。

参考文献:

- [1] 任国泰. 电连接器基础知识(1)[J]. 机电元件, 2004,24(1):42-46. (REN Guo-tai. Foundation knowledge of electric connector(1)[J]. Electromechanical Components, 2004,24(1):42-46.)
- [2] 任国泰. 电连接器基础知识(2)[J]. 机电元件, 2004,24(2):42-46,53. (REN Guo-tai. Foundation knowledge of electric connector(2)[J]. Electromechanical Components, 2004,24(2):42-46,53.)
- [3] 任国泰. 电连接器基础知识(3)[J]. 机电元件, 2004,24(3):41-46. (REN Guo-tai. Foundation knowledge of electric connector(3)[J]. Electromechanical Components, 2004,24(3):41-46.)
- [4] 杨奋为. 航天电连接器及其组件失效分析[J]. 上海航天, 2005(4):60-64. (YANG Fen-wei. The failure analysis of space electric connector and its assembly[J]. Aerospace Shanghai, 2005(4):60-64.)
- [5] 彭光辉. 高压电连接器的可靠性设计[D]. 安徽:合肥工业大学, 2005. (PENG Guang-hui. Reliability design of high voltage electric connector[D]. Hefei, Anhui, China: Hefei University of Technology, 2005.)
- [6] 杨奋为. 航天电连接器的失效预防[J]. 机电元件, 2001,21(4):41-47. (YANG Fen-wei. Failure prevention of aerospace electric connector[J]. Electromechanical Components, 2001,21(4):41-47.)
- [7] 陈学永,董文亮. 电连接器可靠性设计探讨[J]. 机电元件, 2005,25(1):3-9. (CHEN Xue-yong, DONG Wen-liang. Discussion reliability design of electric connector[J]. Electromechanical Components, 2005,25(1):3-9.)
- [8] 梁百川. 电子战装备一体化技术[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010,8(4):397-400,440. (LIANG Bai-chuan. Integration technology of electronic warfare equipment[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010,8(4):397-400,440.)
- [9] 荣命哲. 电接触理论[M]. 北京:机械工业出版社, 2004. (RONG Ming-zhe. Electric Contact Theory[M]. Beijing: China Machine Press, 2004.)

作者简介:



何志刚(1985-),男,四川省资阳市人,硕士,工程师,主要研究方向为电子元器件DPA、FA技术。email:ZHIGANGHE@139.COM.

龚国虎(1989-),男,四川省绵阳市人,学士,助理工程师,主要研究方向为电子元器件DPA、FA技术。

周庆波(1985-),男,四川省大竹县人,硕士,工程师,主要研究方向为电子元器件DPA、FA技术。

梁栋程(1982-),男,贵州省遵义市人,硕士,工程师,主要研究方向为电子元器件DPA、FA技术。

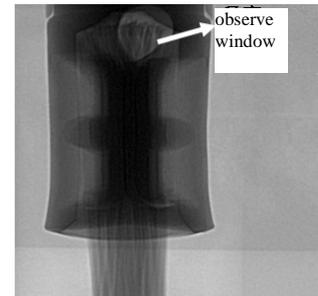


Fig.10 X-ray photograph for improved crimping fastener

图10 改进后压接紧固件X射线照片