

# 工业以太网连接器基准

## RJ45 与 Mini I/O 可靠性比较

作者：Peter D. Jaeger，工业部首席高级研发工程师  
Wijnand van Gils，工业部首席高级研发工程师

### 摘要

随着工业物联网的发展，对更小且更可靠的连接器的需求越来越大，特别是在诸如高振动的严苛工业应用中，要求使用更加可靠的连接方案。

一般工业 IP20 环境下的以太网连接方案，默认使用 RJ45 连接器，但 RJ45 这个产品并不是为工业应用环境而设计的。

本白皮书比较了几种常用的以太网连接器方案在工业 IP20 应用(防止人的手指接触到电器内部的零件，防止中等尺寸,直径大于 12.5mm 的外物侵入，对水或湿气无特殊的防护)中的连接可靠性。采用特定测试序列测量了 2 个以太网连接器系统的性能。

测试的连接器包括：

- RJ45 和 Mini I/O
- 刺破、焊接和可现场安装类型
- 5 家不同制造商

结果显示，Mini I/O 焊接类型可支持超过现有 IEC 标准的要求。

### 简介

工业物联网/工业 4.0 的快速发展使得传感器和致动器连接的数量激增，市场需要更小尺寸的连接方案，同时，对低延时网络传输的需求也要求连接方案更加可靠。

目前在工业以太网应用中使用量最大的 RJ45 连接器，其接口原本是为无屏蔽电话线设计的，使用的是刺破式端子连接技术。因其并非针对工业环境而设计，在振动和潮湿的腐蚀性环境中，RJ45 连接器方案既不稳定，也不可靠。

Mini I/O 连接器系统解决了 RJ45 的不稳定性和不可靠性，可以说是工业以太网连接的完美候选方案，而且其尺寸只有 RJ45 连接器的 25%。下面将详细地比较这两种连接器产品的性能。

IEC 规范 IEC 60603-7-X 作为入门基准规格要求，将其过不过作为比较 Mini I/O 和 RJ45 性能的规格是不够的。例如，在 IEC 60603-7-3 标准中只要求四天的混合气体测试，以及 50 m/s<sup>2</sup> (约 5G) 的振动测试，没有冲击测试要求。工业连接器标准及测试序列模拟其

应用环境。例如，ISO/IEC 11801-1 规定了“MICE”环境等级，从机械，防护，气候&化学品，电磁干扰等方面作出定义，其中的 M<sub>3</sub> 环境等级就定义了 250m/s<sup>2</sup> 的冲击测试。

单一的负载测试可以简单增加负载量，但为模拟实际的工业应用环境需要多种多样的测试组合，振动测试的负载可以增加，但是模拟磨损和腐蚀需要组合多种测试如耐用性（反复插拔），环境测试（混合气体），高温测试，及振动测试在一个测试序列中。这让我们可以更好考察连接系统在严苛环境下的表现。

IEC 60603-7 规定在振动测试中监测瞬断的测试标准。结果为通过或者失败，而在我们的比较测试中，我们将采用计算振动测试中的瞬断次数的方法来取代。

图 1. 参与测试的以太网连接器



## A. RJ45 连接器系统

通常也称“RJ45”，此物理连接器是标准化的 8P8C 模块化连接器，符合 IEC60603-7、ANSI/TIA-1096-A 和 ISO-8877 标准。RJ45 通过缆线与 TIA/EIA-568 标准中指定的 T568A 和 T568B 引脚相连接，可同时兼容电话和以太网。RJ45 是一个模块化连接器，最初设计用于电话配线。有关模块化连接器的描述见于美国注册接口系统。这是联邦通信委员会 (FCC) 于 1976 年做出的规定，其中模块化连接器称为“注册插孔”。RJ45 中使用的穿孔式端子是唯一已知的可靠连接金属箔导线的方式，这在固定电话线圈电线中已得到应用。该模块化设计使其非常适合作为各种宽度扁平电缆的端接。对于扁平电缆，端接速度仍然无法超越，因为所有导体都是一步穿透，而且还提供双电缆应力消除。可惜的是，T567B 的配线方案要求环状电缆导线交叉，这使得端接直通性大大降低。

在过去几十年中，RJ45 已经证明其多功能性 [1]，如今，通过增加屏蔽层和坚固的外壳，甚至可将其用于工业环境中。

## B. Mini I/O 连接器系统

Mini I/O 最初是为日本工业市场设计的，与 RJ45 相比，更小且更可靠。它采用全封闭金属壳体，减小了插接接口封装大小，增强了插入力，并可提供严密公差和插接接口稳定性。通过使用多个焊盘和孔套栓，它可以承受产品规格要求的 98 N 保持力，同时仍然是真正的 SMD 取放连接器。它采用无极性端子布局，插头和插座的端子都采用了弹性端子设计，每对端子含有 2 个独立的接触点，也被称为双保险“战斗蛇端子”。作为发起者，TE Connectivity 在 2017 年达成了 IEC 标准的速度达到 1 Gbps [2] 的 Mini I/O 连接系统。AMPHENOL 和 FCI 也被授权提供这个连接器系统。

## 方法和结果

### A. 采用的测试样品

标的连接器端接一条普通工业级 Cat 5e 电缆，电缆采用 26AWG [0.13 mm<sup>2</sup>] 电线。除了一个回流焊型插座，RJ45 插座均为直角 SMD 型插孔。RJ45 插头（水晶头）为可现场安装类型。所有连接器品牌都成对进行测试；插头和插座为同一品牌，只有一对除外。对于 Mini I/O，座直角型插配 Type2 的 SMD 版焊接式插头。

在准备好引线配件之后，立刻便在实验室的初始 LLCR 测量中发现几个 RJ45 穿孔式端接 ( $R_{total} - R_{bulk} > 20 \text{ m}\Omega$ ) 不良情况。在准备好引线配件之后，在实验室的初始 LLCR（低功率接触阻抗）测试中即发现 RJ45 刺破式端接阻抗不良情况 ( $R_{total} - R_{bulk} > 20 \text{ m}\Omega$ )。使用电气导通工具所做的常规端接质量检查没有检查出这些缺陷。研究表明，导线插入深度及压入深度对于进行良好的刺破式端接至关重要。对于所有 RJ45 刺破式插头，在将导线压入连接器时，必须注意确保正确的导线插入深度，而一些品牌在这方面的要求尤其严格。

## B. 端子物理分析

RJ45 和 Mini I/O 端子系统均采用镍底镀金电镀。相关比较参见图 2。

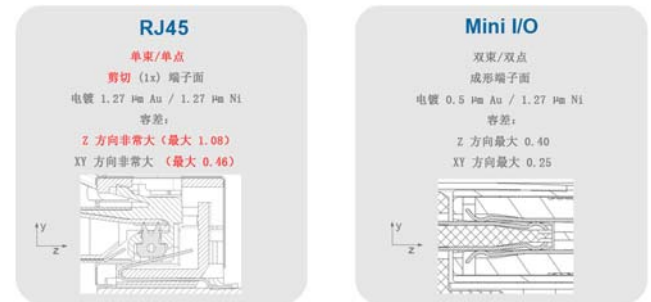


图 2. 两种连接器系统插接端子截面的比较图

每种连接器类型对连接稳定性影响的主要区别是：

### RJ45 布局：

1. 端子接触点稳定性：IEC60603 标准实行的尺寸和公差允许插头在插座中特定方向大幅移动（最坏情况为插接方向上高达 1.08 mm）造成端子正向力变化，会导致电接触的不稳定。
2. 单个端子接触点：仅有一个弹性梁/一个接触点的端子系统可能是稳定的 [3]，但由于插头在插座中位置不稳定所引发的磨损，加上没有多点接触端子的接触余量，接触电阻会出现波动，尤其在插接磨损后又遇到环境压力时尤为严重。导线端接端子：在刺破端接过程中，工具压在端子面上，可能导致表面变形或损坏。
3. 冲切界面端子连接：RJ45 端子的在冲压过程中会在端子插触面上造成锋利的剪切边缘，还出现 RJ45 插头端子面被磨平的情况。
4. 导线端接端子：在刺破端接过程中，工具压在端子面上，可能导致表面变形或损坏。

Mini I/O 布局:

1. 端子接触点稳定性; 端子接触公差链控制良好。金属外壳可以达到更严密的尺寸公差, 提供更好的结构强度。
2. 在焊接型的插头和 SMD 插座中, 两个端子都有平滑的表面保证接触面平滑接触。
3. 插头和插座侧端子均使用弹性材料。

C. 性能和可靠性调查

为特定性能区域定义了测试组。每组包含 4 个插接对, 因此, 每组要进行 32 次信号端子测量。

机械/振动/耐用性

定义了两个测试组, 在 375 次耐插拔后, 分别进行湿度 (21 次循环 -10/25/65°C) 和 MFG (4 种气体/21 天) 测试, 然后进行耐温性和 25g 的振动测试。

测试目标是插拔后的抗环境性能, 从而在测试不破坏连接的情况下找出端子系统之间的差异。低功率接触阻抗变化 ( $\Delta LLCR$ ) 是测试结果之一。最初所有信号连接都很好 ( $< 20 m\Omega$ ), 但是在第一波 375 次插接后, 就已经可以观察到比较大的静态阻抗增加 ( $>300 m\Omega$ )。

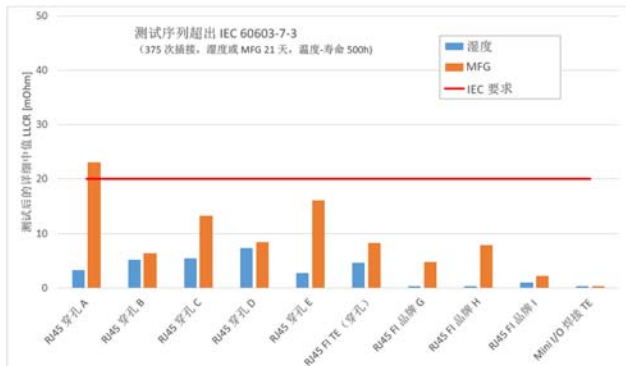


图 3. 耐插拔、环境和振动测试之后, 端子 LLCR 增加

在振动测试中, 使用一种特殊设置来计算微小不连续性。其目的是测量在振动期间每个连接器的误码量。按照以太网的 IEC 60603-7 规范, 当不连续性超过 10μs 时, 产品为不合格。大多数工业网络必须至少具有 Cat 5e 性能, 即每个差分对的传输率为 125Mbaud。

每个波特的时间为 8ns, 如果只将 10 μs 的不连续性算作故障时, 大量误码就已经发生。因此, 此测试中将中断时间从 10 μs 减为 20ns, 大致为一个波特的时间范围。在持续 2 小时的振动测试中, 每个大于 20ns 的中断都算作一个故障。

这种不连续性检查的结果见图 4。所有连接器都显示了不连续性, 但当按 20 ns 计算不连续性时, 可以通过不连续的总数量给出连接质量等级。

该值有助于更好地了解工业应用中的连接器稳定性。

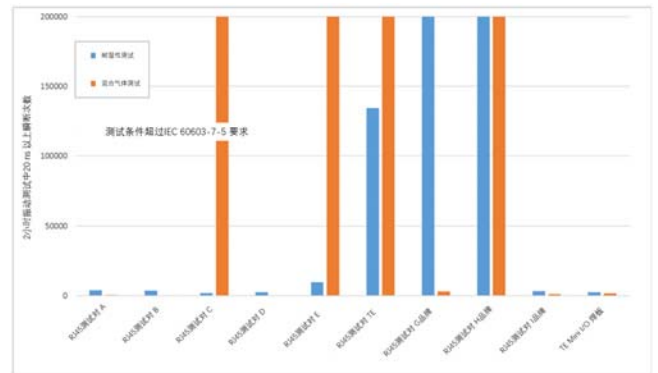


图 4. 振动期间, 插接周期/环境应力测试后出现 20 ns 不连续性, 8 个串联信号端子。

介质耐压 (DWV)

为找到连接器系统的耐压极限, 对每组的 2 个插接对进行了测试, 直到击穿连接器为止。所有样品都符合 IEC 要求, 最低安全裕度为 500 V, 如图 5 所示。

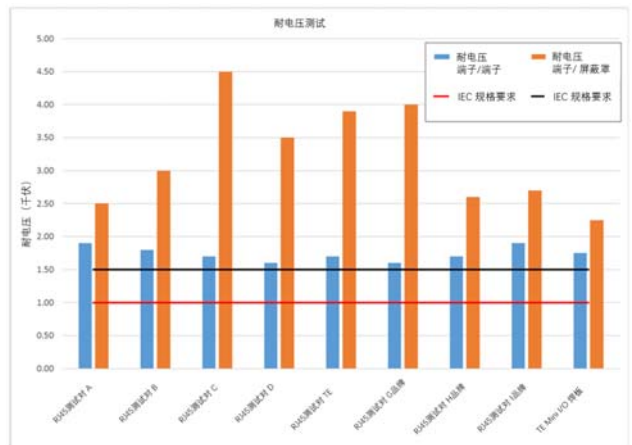


图 5. 介质耐压 - 测试到失效为止

EMI

对于 EMI 性能，我们选择用屏蔽衰减测试来检测连接器的 EMI 性能。测试根据 IEC62153-4-15 标准进行，测试结果见图 6。

可以看到，Mini I/O 的屏蔽衰减明显优于 RJ45 版本，测试频率 125MHz，这是对应 1Gbps 的数据速率的频率波段。而对于 125MHz 以上的频率范围，Mini I/O 仍然是性能最好的产品之一。

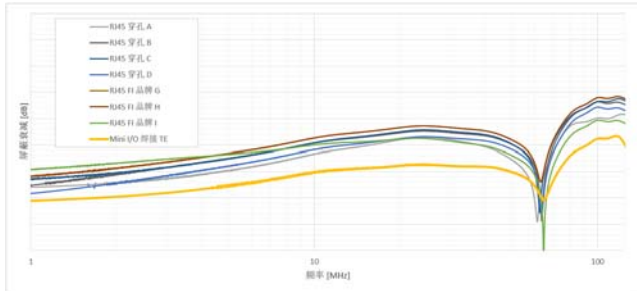


图 6. EMI 测试结果

端子物理特性：正向力和电阻

3 次连续偏转显示了正向力和电阻的正常可重复特性与偏转。

我们采用额外的电缆动态测试，以进一步调查接口稳定性。此电缆动态测试类似汽车 LV-214-2 “慢动作弯曲测试”，并监测了在距离插接接口 100 mm 处横向和纵向移动电缆时的电阻。这将诱发在连接器接口限制内的端子接触点相对移动。对电阻的影响见图 8。

Mini I/O 焊接插头组合最为稳定。

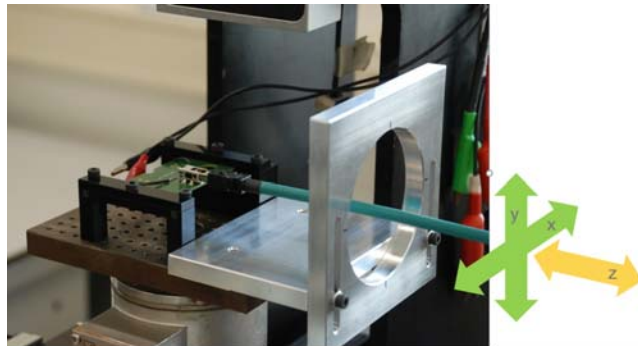


图 7. 电缆动态测试设置振动期间短暂不连续性：

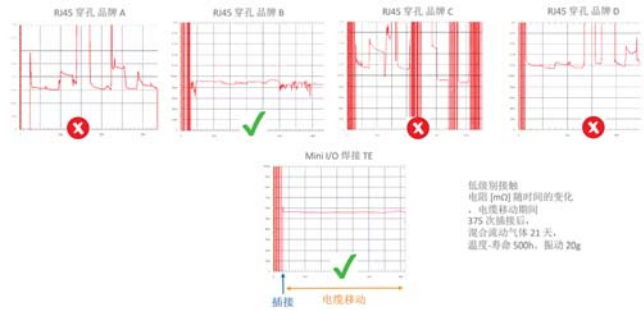


图 8. 电缆动态测试的 LLCR 测试序列超过 IEC 60603-7-3

结论

在所述的广泛基准中，所使用的测试组合和严格程度都超过了 IEC 60603-7-3 Mini I/O 焊接连接器在几个关键性能标准上表现最佳，这对于工业应用至关重要：

**振动中更好的抗中断性能：**得益于稳定的机械接口以及双触点设计

**电缆移动测试期间的电阻：**环境测试后电缆移动测试中阻抗非常稳定

**EMI：**Mini I/O 的屏蔽衰减明显优于所有参与测评的 RJ45 连接器。

以下是在工业环境中使用 Mini-I/O 的其他好处：

**小尺寸**（外形尺寸只有 RJ45 的 25%）以及**高保持力**（98 N 电缆拉力）使 Mini-I/O 成为严苛 IP20 环境中主板连接器解决方案的首选线缆。

参考资料

1. R. Hult, Bishop & Associates Inc., [www.connectorsupplier.com/praise-for-the-lowly-modular-plug](http://www.connectorsupplier.com/praise-for-the-lowly-modular-plug).
2. IEC 61076-3-122/Ed.1.0 2017-05, Part 3-122: “Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors for I/O and Gigabit applications in harsh environments.”
3. J. Broeksteeg, IMAPS 2008, “Design of a high performance single beam contact for demanding and long life time applications in Industry and Telecom markets”.

更多信息

工业 mini I/O 网站：[www.te.com/products/mini-io](http://www.te.com/products/mini-io)

te.com

TE Connectivity、TE Connectivity（徽标）和 Every Connection Counts 为商标。此处提及的所有其他徽标、产品和/公司名称是其各自所有者的商标。

本文档所提供的信息，包括图纸、插图和原理图等，仅用于说明性之目的，均被认为是可靠的。但是，TE Connectivity 对其准确性或完整性不作任何担保，也不承担与其使用有关的任何责任。TE Connectivity 仅履行 TE Connectivity 针对本产品制定的标准销售条款和条件中提出的相关义务，对于因销售、转售、使用或滥用产品而造成的任何偶然的、间接的或相应的损害，TE Connectivity 概不负责。TE Connectivity 产品的用户应自行评估，以确定每种产品是否适用于特定应用。

©2017 TE Connectivity Ltd. 及其下属公司。保留所有权利。

1-1773954-2 版本号 05/2018

