

文件资料 | ZH

EtherCAT/以太网基础设施

关于设计、实施和测试的技术建议和说明



目录

1 摘要	5
2 前言	7
2.1 文档说明	7
2.2 安全说明	8
2.3 文档发布状态	9
3 基础知识	10
3.1 标准环境概览	10
3.2 基本以太网原理	12
3.3 总传输链路	13
3.4 组件	17
3.4.1 以太网组件说明 - 电缆.....	17
3.4.2 以太网组件说明 - 插头连接.....	18
3.4.3 用于 EtherCAT 系统的倍福 RJ45/M8 电缆概览.....	20
3.4.4 适用于 EtherCAT 系统的倍福插头连接器概览.....	28
3.4.5 关于屏蔽的备注.....	31
3.5 组装说明	33
3.6 以太网电缆段的设计	34
4 调试	36
4.1 电缆段的测量	36
4.2 认证说明	39
4.3 测量设备	42
4.3.1 有关测量设备的说明.....	42
4.3.2 使用 DTX1800/DSX5000.....	43
4.4 故障排除	45
5 附录	50
5.1 AWG 转换	50
5.2 技术支持和服务	51

1 摘要

以太网作为工业环境中传输实时现场总线协议的物理介质，其市场正在不断扩大。遗憾的是，即使在 EtherCAT 用户中，对这项技术的了解也没有与对它的热情同步增长。为了避免将办公区域的网络通讯原则直接地应用于工业领域，让规划人员和用户意识到技术方面的差异是有必要的。

作为一种实时协议，EtherCAT 依赖以太网作为物理载体，因此需要以太网连接实现长期稳定的运行。

与其他快速传输系统一样，如果使用不当，如此高频以太网技术在运行或调试过程中也会产生不良影响。如果遵循一些基本原则，则很容易发现或完全避免这些干扰。

本文档旨在为用户提供在工业环境中规划、安装和重复地检查可靠以太网接线的指导方针，不具强制性或法律约束力。

本文档不保证完整性，尤其不能取代 IEC 61784 等规范性安装指令、IEC11801/EN50173 等基本通信指令或特定安装指令。本文档主要适用于欧洲市场。因此，主要参考欧洲 EN 标准。全球重要的 ISO/IEC（国际电工委员会，www.iec.ch）标准通常与相应的 EN 标准内容相同。

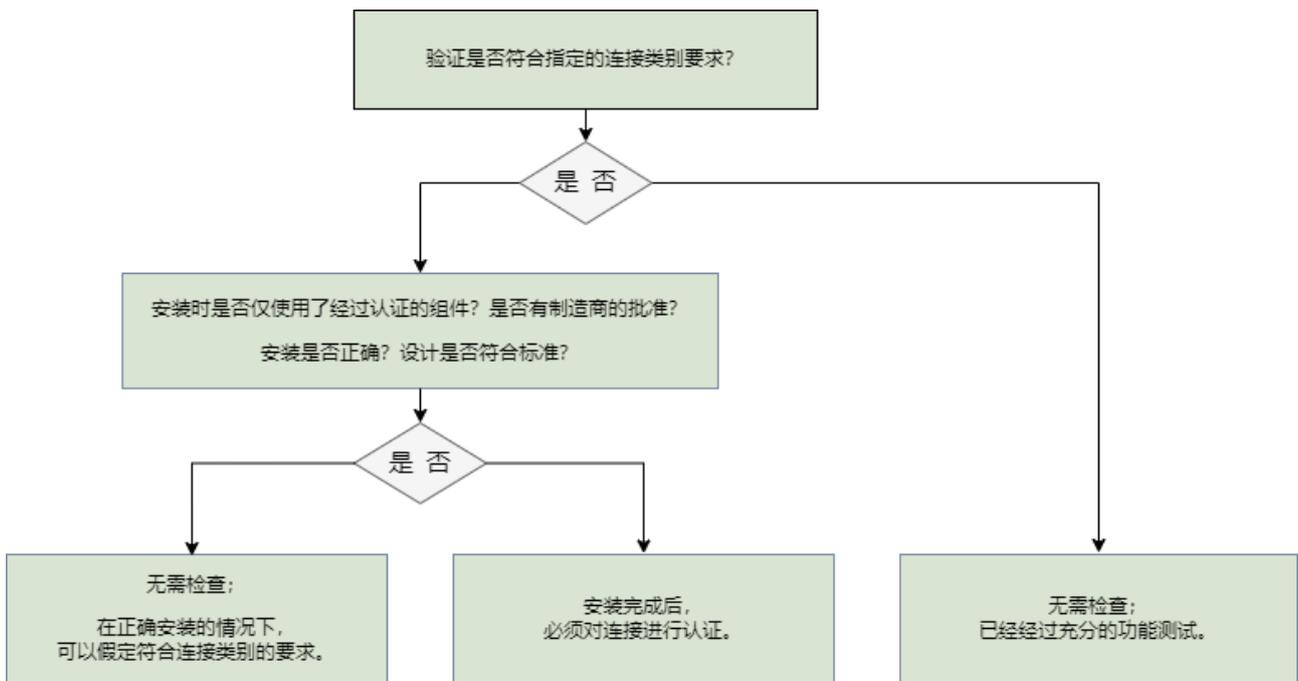
此外，ETG 指南 [ETG.1600](#) 还为 EtherCAT 系统的接线提供了全面而具体的指导。

根据以下章节，基本信息可归纳如下：

- 以太网传输链路（信道）的特点是具有（技术相关）能力在所有规定的运行条件下可靠地保证定义的数据吞吐量 [Mbit/s]，从而保证较高的服务质量。
- EN50173-1 标准中定义了适用于欧洲的这些性能等级，如“D 级”。如果可证实传输链路符合某性能等级，则其符合 EN50173 标准。组件制造商（电缆、连接器）可根据 EN50173 等标准中的限值对其产品进行认证。只使用符合 EN50173 标准认证的组件可足以确保传输链路的合规性；在个别情况下，必须通过符合 EN50346 标准的适当测量方法对其进行验证。
- 用于传输以太网报文的传输链路可以根据这些独立于应用的标准之要求来实现；但也不一定必须如此，在这种情况下，它属于应用特定接线。经验表明，远超出标准规范要求的接线（有时）也可行。
- 建议供应商和用户就所用以太网接线的属性和验收程序达成协议。
- 边界以太网接线可在验收条件下可靠工作，但在运行条件下会出现故障（老化、EMC、温度、移动/撞击）。
- 必须区分根据
 - 欧洲标准系列：EN50173（类似于 IEC11801）
 - 美国标准系列 EIA/TIA 568 认证的以太网组件这两种标准略有不同，但仍使用相同的术语，如“Cat 5”或“D 级”。但是：根据 TIA568 标准认证的组件不得用于根据 EN50173 标准安装的接线中。在大多数情况下，不会出现复杂问题，但接线或整个安装分段不再符合 EN 标准 [EN50173-3，第 1 章]。
- 作为全球通用的通信协议，ISO/IEC 61918 标准和 ISO/IEC 61784-5 EtherCAT 安装设定档对 EtherCAT 具有权威性。它们本身包含定义或基于其他 ISO 标准。
在欧洲，可采用本文档中主要提及的 EN 标准。欧洲成员国将这些 EN 标准作为国家特定标准加以维护。因此，EN 标准在德国被称为“DIN EN”。由于 ISO/IEC 标准中提到的技术规范通常是基于专业技术领域的普遍共识，因此大多数 ISO/IEC 规范都以类似的形式出现在 EN 标准中。本文档不提供比较。
- 扩展标准系列（ISO24702、EN51918 等）专门针对工业问题制定，涉及环境条件或协议特定规定等。不过，它们不会影响 EN50173 规定的基本电工原则。
- 以太网接线的性能（即 10/100/1000 Mbit/s 的可靠传输）通常取决于以下因素：
 - 各子分段的电缆质量（衰减、截面、电缆结构、屏蔽）
 - 插头质量（适配、屏蔽、电缆适用性）
 - 中间连接的数量
 - 环境温度（20 至 60 °C，按照 EN50173 标准规定的降额要求）
 - 环境影响（例如，根据 EN50173-1 第 5 章进行的 MICE 分类：机械/进入/气候/电磁评级）
- 在 EtherCAT 应用领域，只需要符合 EN50173 D 级标准的 100 Mbit/s 快速以太网连接性能 [最大 100 MHz]，下文将对此进行介绍。允许用户要求性能更高的连接等级（E 级 [最大 250 MHz]、EA、F 级 [最大 600 MHz]、FA），但这在技术上不合理。
- 为了达到这一性能等级，只允许符合 EN50173 Cat. 5（最低）的以太网组件；参见 EN50173-3，第 1.2 章等。
符合 EN50173 Cat. 5 标准的组件就足够，但当使用墙壁馈通装置/双耦合器时，这些组件必须符合 EN50173 Cat. 6 标准，方可达到 D 级性能。
- 本文档目前只涉及铜基以太网 100Base-TX 接线，而不涉及基于 100Base-FX 的光纤布线。

- 与楼宇自动化中通常使用的完全分配的 8 芯/4 对电缆相比，4 芯/2 对电缆在工业快速以太网中更受青睐。这将在验收测试中予以考虑（见此处）。
- 4 芯/2 对工业以太网电缆的推荐分配是基于 TIA-568A 的 1、2、3、6+ 屏蔽配置。
- 电缆截面建议如下：
 - 线缆结构：绞合或刚性芯
 - 截面：AWG26/7 至 AWG22/1，分别对应 7 芯 0.14 mm²（绞合）至 0.34 mm²（刚性）。
- 根据 EN50173-1，以太网链路的最大允许配置为 90 米的永久安装电缆加上 2 条各长 5 米的设备连接电缆，最多带 4 个中间连接器。其他配置（如直接 100 m 长的连接）应根据 EN50173-3 附录 B 进行设计，并在现场测试其是否符合性能等级。
- 使用专用跳接电缆/电线时应注意：根据 EN50173-1 第 9 章，最长约 10 m 的市售跳接电缆的限值要比根据 EN50288 设计用于永久安装的电缆宽松得多。应避免串联或配置超长线缆，如有必要，至少应通过验证进行检查 - 简单的通路测试是不够的！还应检查按“米”出售的指定商品制成的应用特定跳接电缆的适合性。
- 端点之间的插头连接的数量要减少到必要的最低限度。
- 建议只使用符合 EN50288-2 标准（STP、SF/UTP）的屏蔽以太网电缆。电缆屏蔽与特殊的双绞线配合使用，有助于防止通信电缆干扰，从而确保通信链路的可靠运行。终端设备必须支持屏蔽连接。特别是在使用现场可配置连接器时，必须确保连接器和电缆之间具有技术上完美、最先进的屏蔽连接（另参见 EN50174-2 和一般 VDE 屏蔽规定）。目前（2011 年）只能在实验室中对屏蔽效果进行定性测试。因此，在执行过程中必须确保完美的工艺。
 - 在所有过渡处都必须有 360° 的屏蔽接触。不允许使用尾纤（在接触前将屏蔽编织层绞在一起）。
 - 还必须长期保证屏蔽接触（机械或化学影响）。
 - 必须避免屏蔽上出现中断和小孔。
 - 电缆屏蔽不得用于应变保护。
 - 屏蔽材料必须满足电气和机械要求。特殊电缆用于拖链或花环型物。应遵守电缆和连接器制造商的说明。
- 建议尽可能使用刚性以太网电缆，而不是绞线，因为刚性以太网电缆具有更好的电气性能（衰减_{绞合} > 衰减_{刚性}）。
- 建议尽可能使用更大的芯线截面（如 AWG22 而不是 AWG26），因为其具有更好的电气特性（衰减_{薄芯线} > 衰减_{厚芯线}）。如果长度超过 50 米，截面太小（AWG26）会导致无法达到性能等级要求！
- 建议在调试前检查已安装的以太网接线。
- 建议在运行期间使用软件诊断手段（如倍福 TwinCAT）监控已安装的以太网接线。

因此，根据规定的标准，可以对电缆段做出如下验证决定：



附图 1: 验证决定

2 前言

2.1 文档说明

目标受众

本说明仅适用于熟悉国家标准且经过培训的控制和自动化工程专家。
在安装和调试组件时，必须遵循文档和以下说明及解释。
操作人员应具备相关资质，并始终使用最新的生效文档。

相关负责人员必须确保所述产品的应用或使用符合所有安全要求，包括所有相关法律、法规、准则和标准。

免责声明

本文档经过精心准备。然而，所述产品正在不断开发中。

我们保留随时修改和更改本文档的权利，恕不另行通知。

不得依据本文档中的数据、图表和说明对已供货产品的修改提出赔偿。

商标

Beckhoff®、TwinCAT®、TwinCAT/BSD®、TC/BSD®、EtherCAT®、EtherCAT G®、EtherCAT G10®、EtherCAT P®、Safety over EtherCAT®、TwinSAFE®、XFC®、XTS® 和 XPlanar® 是倍福自动化有限公司的注册商标并得到授权。本出版物中使用的其他名称可能是商标，第三方出于自身目的使用它们可能侵犯商标所有者的权利。

正在申请的专利

涵盖 EtherCAT 技术，包括但不限于以下专利申请和专利：EP1590927、EP1789857、EP1456722、EP2137893、DE102015105702，并在多个其他国家进行了相应的专利申请或注册。



EtherCAT® 是注册商标和专利技术，由德国倍福自动化有限公司授权使用。

版权所有

© 德国倍福自动化有限公司。

未经明确授权，禁止复制、分发和使用本文件以及将其内容传达给他人。
违者将被追究赔偿责任。在专利授权、工具型号或设计方面保留所有权利。

2.2 安全说明

安全规范

请注意以下安全说明和解释！
可在以下页面或安装、接线、调试等区域找到产品相关的安全说明。

责任免除

所有组件在供货时都配有适合应用的特定硬件和软件配置。禁止未按文档所述修改硬件或软件配置，德国倍福自动化有限公司不对此承担责任。

人员资格

本说明仅供熟悉适用国家标准的控制、自动化和驱动工程专家使用。

警示性词语

文档中使用的警示信号词分类如下。为避免人身伤害和财产损失，请阅读并遵守安全和警告注意事项。

人身伤害警告

⚠ 危险

存在死亡或重伤的高度风险。

⚠ 警告

存在死亡或重伤的中度风险。

⚠ 谨慎

存在可能导致中度或轻度伤害的低度风险。

财产或环境损害警告

注意

可能会损坏环境、设备或数据。

操作产品的信息



这些信息包括：
有关产品的操作、帮助或进一步信息的建议。

2.3 文档发布状态

版本	注释
2.4.0	- 更新“组件”一章 - 更新结构
2.3	- 更新“摘要”一章 - 更新结构
2.2	- 更新“组件”一章 - 更新“安全说明”一章 - 更新结构
2.1	- 更新“摘要”一章 - 更新结构
2.0	- ST4 中的迁移 - 增补 - 更新结构
1.8	- 增补章节 - “电缆段的测量” - “DTX1800/DSX5000 的使用” - “认证说明”
1.7	- 标准增补概览
1.6	增补和更正
1.5	- 增补
1.4	- 增补
1.3	- 增补
1.2	- 屏蔽数据
1.1	- 用信道适配器代替 PL 适配器进行标准测量
1.0	- 公开版本
0.1	- 临时文档

3 基础知识

3.1 标准环境概览

与以太网技术相关的标准有很多。这些标准涉及：

- 安装
- 通讯协议
- 机械/电气限值
- 组件定义

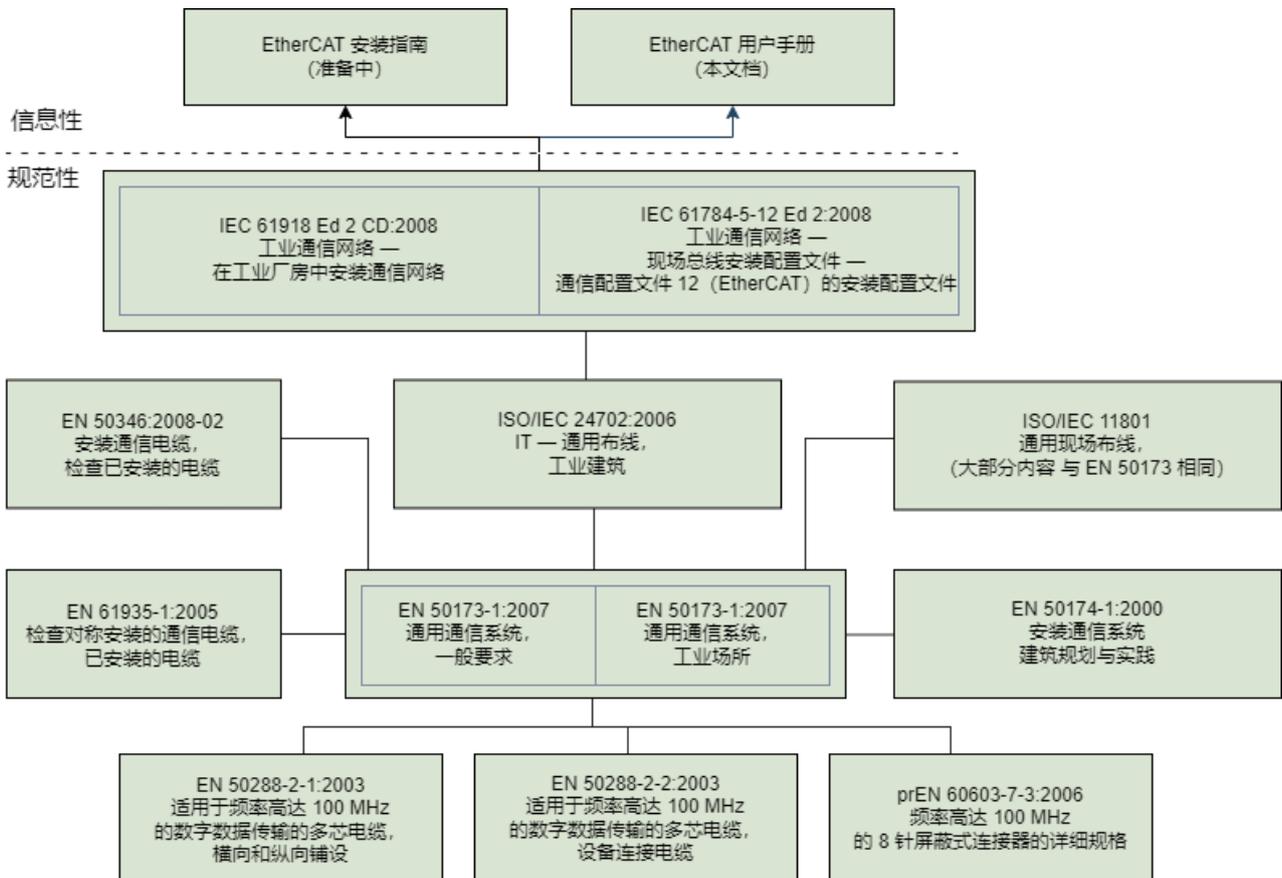
本文档涉及以下小节：

- 哪些组件
- 以何种方式组合
- 产生具有所需性能等级的电缆段。

本简介中考虑到了三个规范委员会：

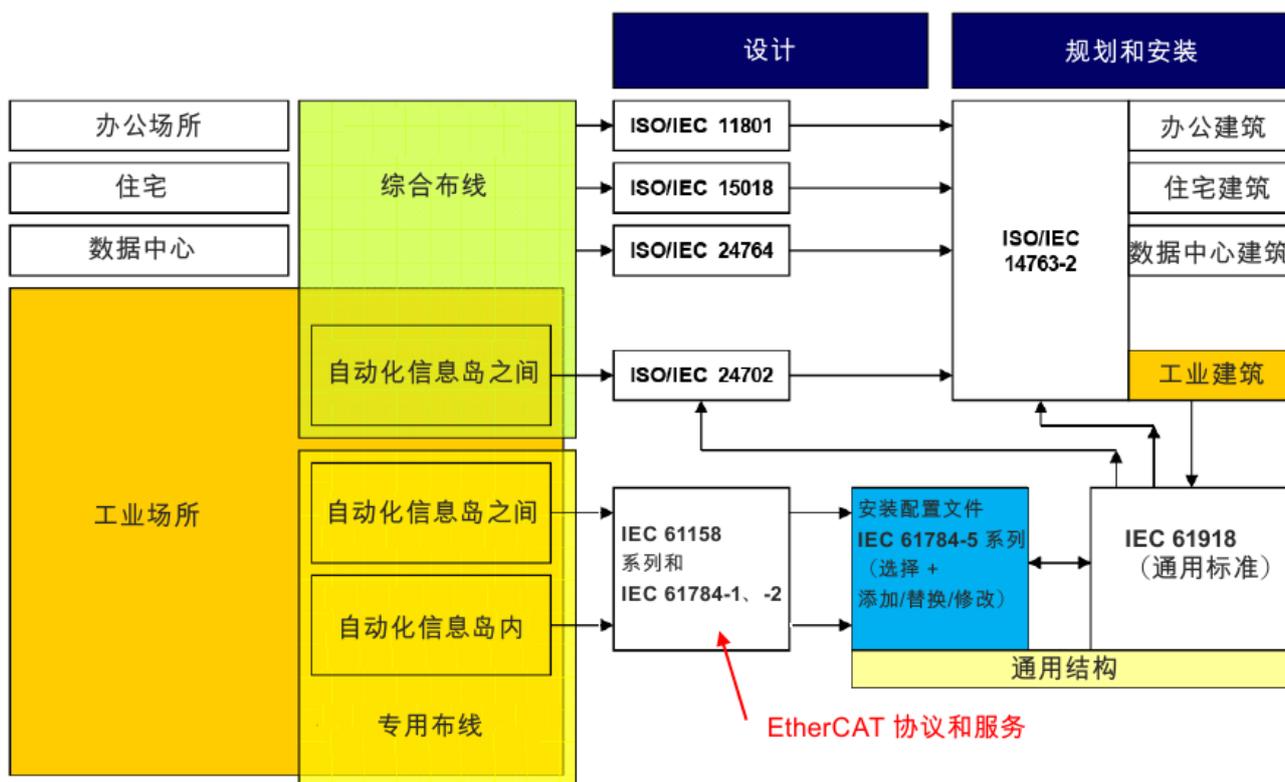
- ISO：国际标准化组织：<http://www.iso.org>
- IEC：国际电工委员会，www.iec.ch
- EN/DIN：欧洲标准委员会或其德国版本（通过 DIN）：<http://www.cenelec.eu>
- TIA/EIA：美国标准委员会：<http://www.tiaonline.org/>

作为全球通用的通信协议，IEC 61918 标准和 IEC 61784-5 EtherCAT 安装设定档是适用于 EtherCAT 的权威标准。这些标准本身包含定义，或以其他 ISO/IEC 标准为基础。EN 标准中相应的欧洲实施标准在技术上等



附图 2：标准概览（不保证完整性）

下图展示了 IT 接线、工业自动化、住宅楼宇和数据中心的要求背景（广泛方法）：



附图 3: 扩展的标准概览, 不保证完整性

表 1: 参考文献

EN50174-2:2000 prEN50174-2:2007	信息技术 通信电缆的安装 第 2 部分: 建筑内安装规划和安装实践
EN50288-2-1:2003 EN50288-2-2:2003	用于模拟和数字传输的多芯金属数据和控制电缆 第 2-1 部分: 100 MHz 以下屏蔽电缆的框架规范 水平和垂直区域的电缆 第 2-2 部分: 设备连接电缆和配电盘电缆
EN60603-7-2 EN60603-7-3	电子设施连接器 第 7-2 部分: 适用于 100 MHz 以下数据传输的非屏蔽自由和固定连接器 (8 针) 的详细规范 第 7-3 部分: 适用于 100 MHz 以下数据传输的屏蔽自由和固定连接器 (8 针) 的详细规范
EN50173-1:2007 EN50173-3:2007	信息技术 独立于应用的通信系统 第 1 部分: 一般要求
IEC24702:2006	信息技术 独立于应用的接线 工业用建筑
IEC61784-5-12/WD	工业通信网络 现场总线安装设定手册 通信配置文件系列 12 (EtherCAT) 的安装配置文件
IEC61918 Ed. 2.0	工业通信网络 在工业厂房安装通信网络
EN61935-1	IT 接线测试规范
IEC61156-6	1000 MHz 以下多芯对称电缆的框架规范

3.2 基本以太网原理

根据数据传输速率的不同（10、100、1000 Mbit/s），“以太网”目前有不同的性能等级。这里专门讨论的 100Mbit 快速以太网是符合 ISO/IEC 8802-3 标准的物理传输方法，称为

- 100Base-TX 类型
- 全双工，因此无需基于 CSMA/CD 的防碰撞冲突
- 使用 4 个可能的芯对中的 2 个：1-2 和 3-6。因此，四芯电缆便足够。
- 2 台智能设备之间的点对点连接，通过连接集成电路（IC）动态确定建立连接的部分

100 Mbit/s 可用数据流采用三重编码

- 4 位/5 位编码（ISO9314，用于时钟恢复）® 125 Mbit/s 总数据流
- NRZI 编码（用于降频，一个电平变化意味着 1_{bin} ）® 最大 62.5 MHz“中间频率”
- MLT-3 编码（用于降频，3 种而不是 2 种电压状态）® 电缆上的最大信号频率为 31.25 MHz；实际频率取决于数据流，因此可变

考虑到产生的谐波，全段连接性能符合 EN50173-1 D/Cat5 标准，信号频率最高可达 100 MHz，因此足以满足快速以太网（EtherCAT）的要求。

相反，1000 Mbit/1 Gbit 以太网的中间信号频率为 62.25 MHz，需要全部 4 个芯对。原则上，完全分配的 D 级分段适合传输；但是，由于 Gbit 以太网中使用了全部四个芯对，而且这些芯对还同时双向使用，因此建议按照 ANSI/TIA/EIA-TSB-6（TIA Cat. 5e）规定的收紧限值（串扰、回波损耗）获得分段认证。

建立连接

诊断以太网连接的最简单方法是观察两端点的链路显示：如果以太网电缆两端都与设备相连，则两端开始自身同步或通过连续发送/接收特殊位序列（空闲符号）来保持同步。这个空闲符号由尽可能多的电平变化组成，因为“1”要传输 5 次 - 一个“1”的传输意味着 NRZI 过程中的一次电平变化。

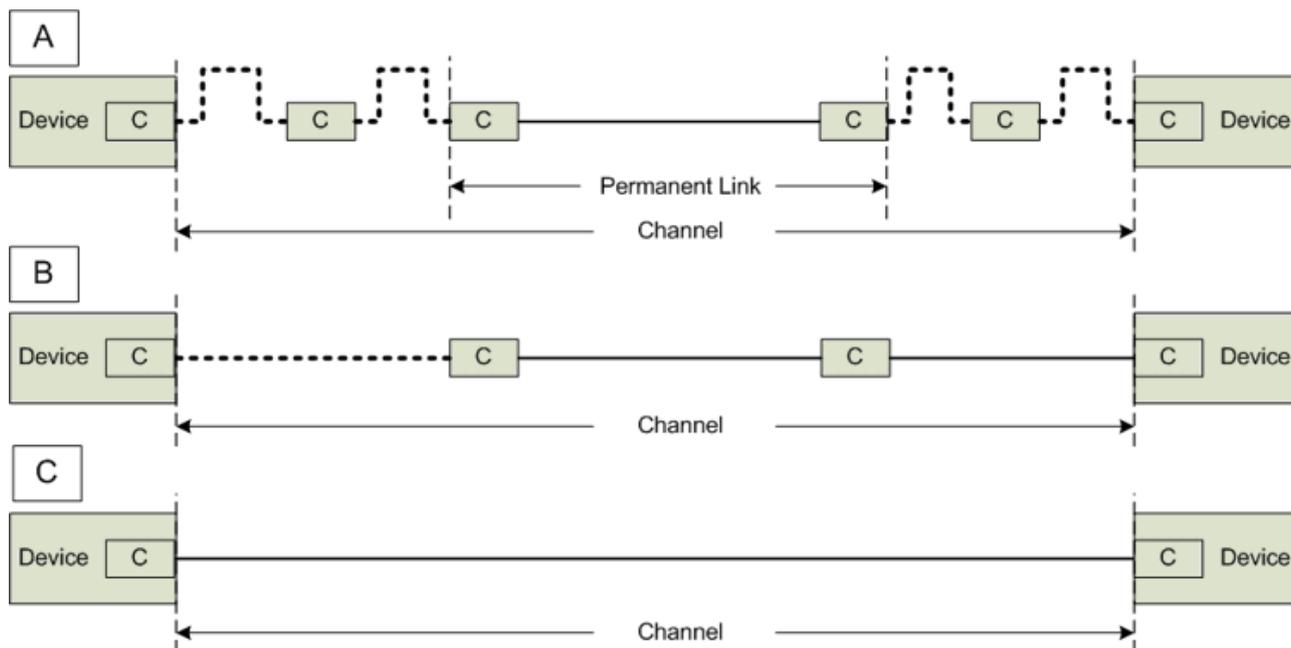
因此，由于不断交换空闲符号，处于非运行状态的以太网设备的电流消耗比正常数据通信期间更高！

3.3 总传输链路

符合 BS EN 50173 标准的普通以太网铜电缆（双绞线）具有以下特点：

- 最长 90 m 永久安装电缆（符合 EN50288-x-1 标准）+ 两根最长 5 m 的设备连接电缆（符合 EN50288-x-2 标准），共 100 m
- 在端点之间最多有 4 个插头连接 + 2 个端子连接器
- 符合 EN50288 标准的电缆
- 双耦合器（用于连接两个 RJ45 插头）需要单独处理，且通常算作 2 个插头连接。
- 所有电缆必须具有相同的额定特性阻抗： $100 \pm 5 \Omega$ 或 $120 \pm 5 \Omega @ 100 \text{ MHz}$ 。
- 可选择现有整体电缆屏蔽或额外的芯对屏蔽。建议 EtherCAT 使用专用屏蔽电缆。

下面将根据图示讨论传输链路的各个分段：



附图 4：传输链路

模型 A：

模型 A 说明了符合 EN50173-1 标准的最大允许模型，由以下部分组成

- 最长 90 m 的永久链路：符合 EN50288-2-1 标准的带电缆永久链路
- 共 6 个插头连接 C，包括端子连接点
- 最多 2 x 个符合 EN50288-2-2“跳接电缆”标准的设备连接电缆

验收测试的决定性因素是

- 根据 EN50173-1（附录 A）对永久链路进行测量，包括两个连接点
- 根据 EN50173-1 第 5 章进行的信道测量，不包括两个连接点

ISO11801/EN50173“构建网络导向接线”的目标市场从结构上（跳线架、中间分配器、地面分配器）一目了然。最多四个插头连接也可以以其他方式分布在电缆段上，例如在跳线架中；参见模型 B。

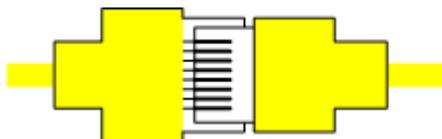
模型 B、C：

模型 B、C 代表了工业领域更典型的传输链路；EN50173-1 或 ISO24702 对它们进行了讨论。

连接器

由于电缆对之间的衰减、反射和串音，过渡点会对整个传输链路产生负面影响。因此，符合 EN50173 标准之信道的允许过渡点数量限为六个。

插头连接（图“传输链路”中的对象 C）表示两个元件插头/接口之间的一个过渡点。

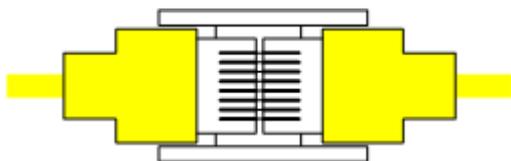


附图 5: 简单的插头/接口转换

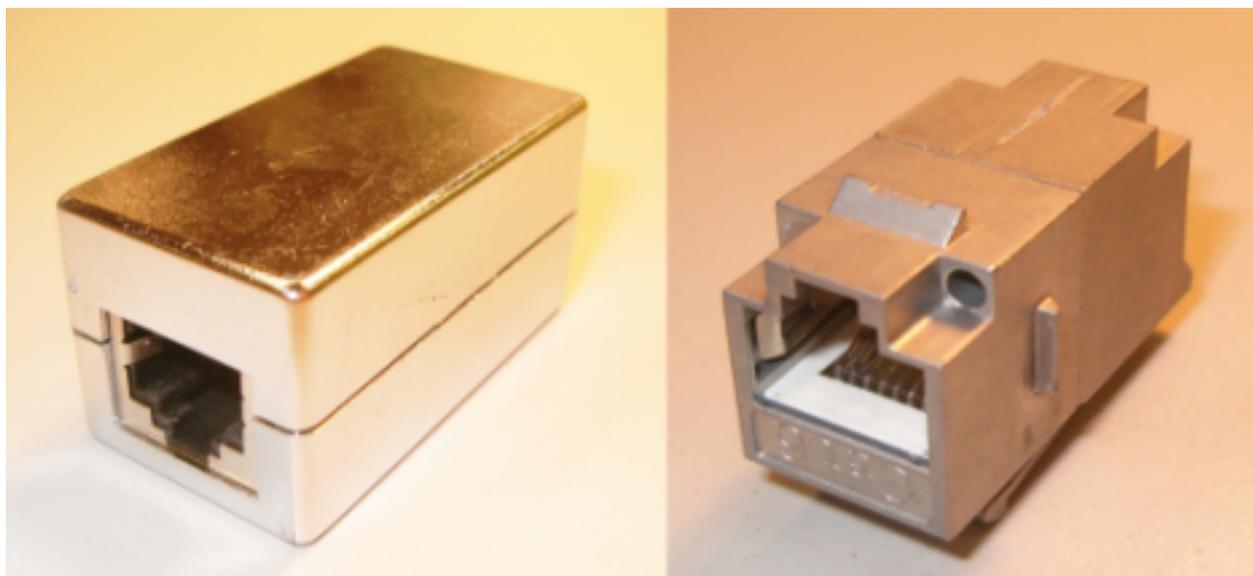


附图 6: 图: 简单的插头/接口转换

因此，一个双耦合器代表 2 个过渡点，除非制造商指定其为插头连接器意义上的 1 个过渡点。



附图 7: 双耦合器



附图 8: 双耦合器; 左 Cat. 5, 塑料; 右: Cat. 6, 全金属

由于仅允许使用 Cat. 6 以上的双耦合器（EN50173-3, 附录 B）来维护通常只需要 Cat. 5 组件的传输链路的 EN50173 D 级性能，因此对于例如墙壁馈通装置，优先考虑具有简单插头/接口转换的耦合器。

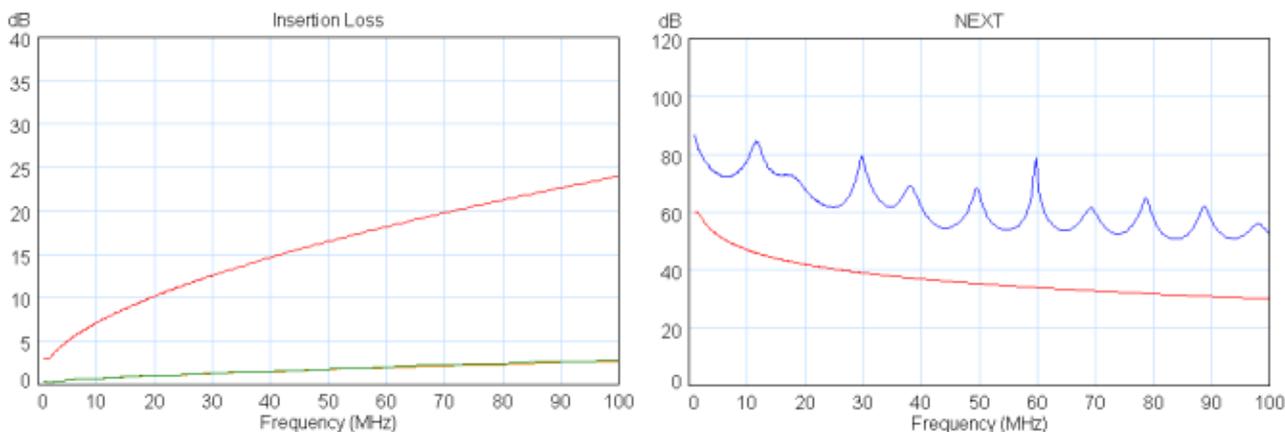
传输链路的性能

EN50173-1:2007 第 5 章根据允许的频率范围定义了 8 个等级：

表 2: 性能等级符合 EN50173-1 标准

等级	频率范围
SRKG	最大 0.1 MHz
A	最大 100 kHz
B	最大 1 MHz
C	最大 16 MHz
D	最大 100 MHz
E	最大 250 MHz
F	最大 600 MHz
RuK-S	最大 1000 MHz

针对以太网相关性能等级 D、E 和 F，规定了计算频率相关限值曲线（如 1 至 100 MHz 范围内，D 级）的公式。根据参数的不同，必要时测量值必须保持在限值曲线 $f(f)$ 以下或以上。



附图 9: 测量示例：插入损耗和 NEXT - 每种情况下频率相关限值曲线均以红色显示

定义了以下参数：

表 3: 符合 EN50173-1:2007 标准的参数概览

中文	缩写
回波损耗	RL
插入损耗、耦合衰减	
近端串音损耗	NEXT
累加功率 NEXT	PSNEXT
近/远端衰减与串音比	ACR-N ACR-F
功率累加 ACR	PSACR
等电平远端串音比	ELFEXT
功率累加 ELFEXT	PSELFEXT
电阻	-
电阻差	-
传播延迟	-
延迟偏差	-
横向转换损耗	TCL

所有参数并非对每个性能等级均具有强制性；必须根据 EN50346 进行测量。

摘自 EN50173 D 级特性值

表 4: 根据 EN50173-1 D 级标准选择的传输链路的特性值

特性值	信道	永久链路
长度 [m]	最长 100 m	最长 90 m
最大插入损耗 [dB @ 100 MHz, 100m]	24 dB	20.4 dB
NEXT [dB @ 100 MHz, 100m]	30.1 dB	32.3 dB
最大传播延迟 [ns @ 100MHz]	548 ns	491 ns

备注:

- 在 EN50173-1 第 5.2 章的最大限值（参考）计算中，假定信道内最多允许 4 个插头连接
- EN50173 D 级允许的最大信号传播延迟为 548 ns（在 100 MHz 频率下），这就限制了过长电缆的使用。在假定 NVP_{电缆} 为 60% 的情况下，信道长度已被限制为 100 m。
- 所有限值均基于 20 ° C 的假定环境温度。EN50173 中规定了 60 ° C 范围内的降额 (0.2%/°C)：电缆/插头的特性会随着温度的升高而变差；因此，最大允许信道长度会随着温度的升高而减少。

● 规格偏差

I 上述 ISO11801/EN50173 的规格可能存在偏差，例如插头连接或电缆段超过允许范围，或电缆材料不符合要求。在这种情况下，必须根据 ISO11801/EN50173 标准对传输链路进行计算，并建议在安装后进行验证/认证。

设备连接电缆说明

通常的设备连接电缆/跳线验收测试方法使用专用跳线适配器（如 Fluke）进行跳线测量，并根据 EN50173 测量跳线限值。

规定最大值为 20 m；因此未规定衰减量。

只需对 RL 和 NEXT 进行测量；该措辞比信道中的更为严格。

3.4 组件

3.4.1 以太网组件说明 - 电缆

为实现合规性，EN50173-1 第 7 章要求使用符合 EN50288 标准的双绞线电缆。这包括屏蔽和非屏蔽电缆。由于推荐使用屏蔽电缆进行 EtherCAT 电缆连接，因此下文将对其进行专门讨论。

相关的 EN50288-2 标准包含有关刚性电缆和柔性电缆的子章节。允许将双绞线或星绞线作为两种电缆的电缆结构。星绞线更具优势：机械性能更稳定（移动应用、横向抗压强度）、空间要求更低、NEXT 值更佳。

例如，这些标准包含以下数据：

EN50288-2-1

- 用途：屏蔽电缆 - 100 MHz，永久安装，用于水平/垂直区域
- “刚性电线结构”，实心铜导体
- 截面约相当于 AWG24 至 21
- 最大插入损耗 **21.3 dB/100 m @ 100 MHz**
- DC 环路电阻 $< 19 \ \Omega / 100\text{m}$

EN50288-2-2

- 用途：屏蔽电缆 - 100 MHz，设备连接电缆
- “柔性电线结构”，绞合电线 - 单股或多股导线必须由 7 股导线组成
- 最大插入损耗 **32 dB/100 m @ 100 MHz**
- DC 环路电阻 $< 29 \ \Omega / 100\text{m}$

该数据在 20 ° C 的条件下有效。

制造商可根据 EN50173-1 第 5 章或附录 G 中规定的环境条件，按照 MICE 分类对电缆进行认证。

● 跳接电缆和衰减

i 从上述技术数据中可以看出，使用按照 EN50288-2-2 标准认证的跳接电缆不可能达到 EN50173 D 级信道（允许插入损耗为 24 dB/100 m @ 100 MHz）。仅在考虑到技术限制的情况下才可使用长度超过 10 米的跳接电缆（符合 EN50288-2-2 标准）或将此类电缆串联起来。

对于电缆和插头连接器的组合，EN50173-1 第 9 章规定了预配置跳接电缆/电线的等级和允许限值。

IEC61784-5-12 在“EtherCAT 网络安装设定档”中提到了这一点，规定使用 AWG22 电缆（注：EN50288-2-1 类型）最大连接长度为 100 m。

● 屏蔽

i 现有屏蔽可能会增加电缆的插入损耗等。只有在长度很长的情况下，这种损耗才会明显。如果电缆段的验收因为该原因而失败，最好是使用更大的芯线截面，而不是放弃使用屏蔽电缆。屏蔽可改善回波损耗 RL。

● “与 Cat. 5 类似”

i 自这些标准制定以来，电缆开发经历了技术进步，现在市场上有许多适用于以太网通信的电缆，它们：

- 具有符合 EN50173ff 规范要求的电气特性，但是
- 不符合或超出 EN50288 规定的个别（机械）规范。

例如，通过数据表中“类似于 Cat. 5”的备注可识别此类电缆，并可根据制造商的规范使用 - 这是一种应用特定接线情况，必要时应在安装后对其进行认证测试。

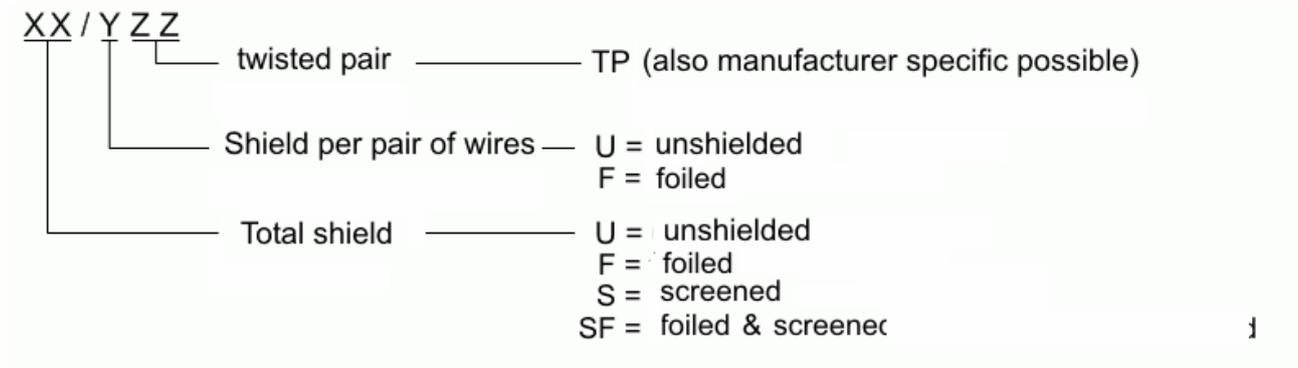
电缆结构

按 AWG（美国线规）标注的直径以 AWGxx/y 表示：xx = AWG 数值，y = 芯数

示例：

- AWG22/1 表示单芯，直径 AWG22。
- AWG22/7 表示 7 芯，总截面相当于 AWG22。

根据 ISO/IEC11801 的规定，电缆结构如下：



附图 10：电缆结构

i 电缆结构

建议仅使用完全屏蔽传输链路，如 SF/FTP、S/FTP 或 SF/UTP。确保终端设备中屏蔽的正确连接。请遵守相关说明。

3.4.2 以太网组件说明 - 插头连接

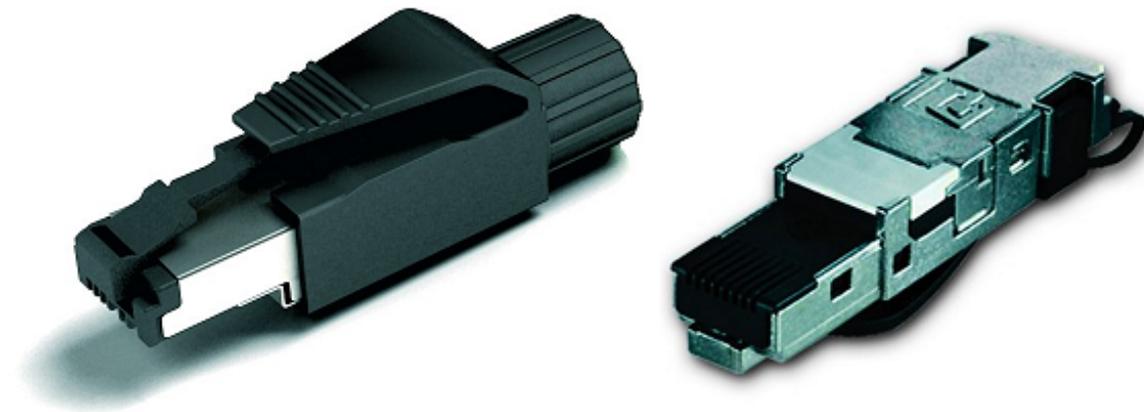
快速以太网的连接设备必须符合 EN50173 D 级的电气和机械要求。这确保了向后兼容性；更高等级的连接设备也可用于实现 D 级性能。

制造商可根据 EN50173-1 第 5 章或附录 G 中规定的环境条件，按照 MICE 分类对插头组件进行认证。

插头连接对传输链路的电气特性（特别是屏蔽效应、衰减、串音和回波损耗等参数）有很大影响。在传输链路设计中，单插头连接器的插入损耗大致为 0.4 dB（EN50173-1，附录 A）。

D 级使用以下配合面：

EN60607: "RJ45"

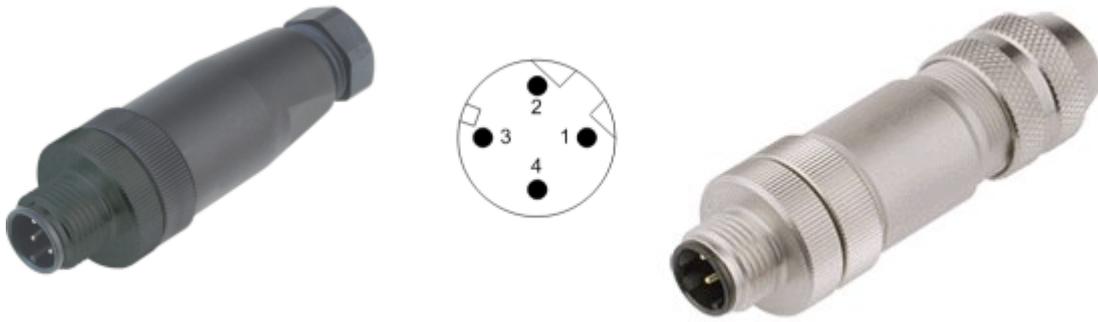


附图 11：连接器 EN60603-7，可现场配置；左：仅兼容快速以太网，分配 1-2-3-6；右：兼容 GBit，可完全分配

根据 TIA-568B 标准，4 芯分配足以支持快速以太网（100 Mbit/s）。

EN61076-2-101: "M12"

根据 EN61076-2-101 标准，4 极引脚分配仅支持快速以太网。



附图 12: 连接器 EN61076-2-101, D 类型

EN61076-2-101: M8

根据 EN61076-2-101 标准, 4 极引脚分配仅支持快速以太网。



附图 13: 连接器 EN61076-2-101, D 类型

其他

除上述连接器外, 还可使用其他连接器。它们必须符合 EN50173-1:2007 附录 D 的电气和机械要求。应遵守适用于 EtherCAT IEC61784-5-12 的安装设定档。

线芯分配 (根据 IEC 61918 附录 H 标准)

表 5: 连接器引脚分配 - WH=白色, OG=橙色, GN=绿色, BU=蓝色, BN=棕色, YE=黄色

信号	功能	RJ45	M12	M8	电缆颜色符合 TIA-568B 标准	电缆颜色符合 EN61918 标准
TD +	发送数据 +	1	1	1	WH/OG	YE
TD-	发送数据 -	2	3	4	OG	OG
RD+	接收数据 +	3	2	2	WH/GN	WH
RD-	接收数据 -	6	4	3	GN	BU
-	第 3 对 +	4	-	-	BU	-
-	第 3 对 -	5	-	-	WH/BU	-
-	第 4 对 +	7	-	-	WH/BN	-
-	第 4 对 -	8	-	-	BN	-
Screen	屏蔽	外壳	外壳	外壳	未定义	未定义

屏蔽效果

必须确保屏蔽效果在电缆材料到连接器的过渡处得以延续。此外, 在连接器/电缆过渡区域, 屏蔽材料 (编织网、铝箔) 必须以低阻抗和大表面积的方式与连接器主体连接, 并且必须 360° 包裹电缆。

必须遵守屏蔽 [▶ 31] 说明和随连接器附带的说明书。

3.4.3 用于 EtherCAT 系统的倍福 RJ45/M8 电缆概览

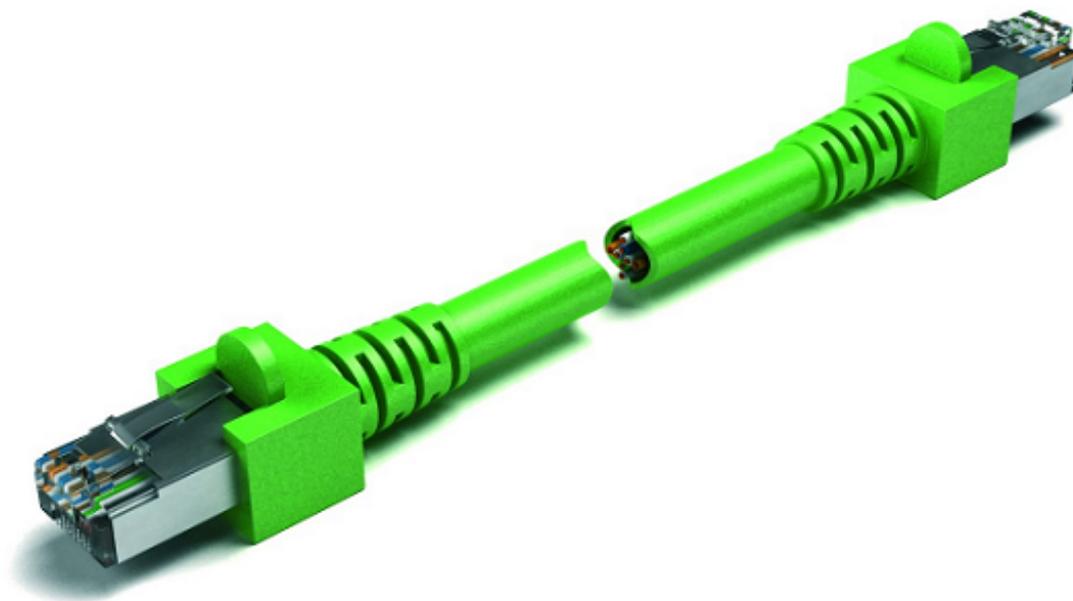
倍福推荐 EtherCAT 系统使用下列电缆。

● 电缆数据表和文档

i 有关此处推荐的电缆的技术数据，请参阅相关数据表和文档；其可在我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>) 上下载。

表 6: 按米出售的线缆

名称	电缆
ZB9010	工业以太网/EtherCAT 电缆，固定安装，CAT 5e，四线制
ZB9020	工业以太网/EtherCAT 电缆，适用于拖链，CAT 5e，四芯
ZB9030	EtherCAT/以太网电缆，PVC，屏蔽
ZB9031	EtherCAT/以太网电缆，PUR，适用于拖链，屏蔽
ZB9032	EtherCAT/以太网电缆，PUR，适用于拖链，Highflex（高柔性）



附图 14: ZK1090-9191-xxxx

表 7: EtherCAT 跳接电缆, 2x RJ45 插头

名称	长度
ZK1090-9191-0001	0.17 m
ZK1090-9191-0002	0.26 m
ZK1090-9191-0005	0.5 m
ZK1090-9191-0010	1.0 m
ZK1090-9191-0020	2.0 m
ZK1090-9191-0030	3.0 m
ZK1090-9191-0050	5.0 m
ZK1090-9191-0100	10.0 m
ZK1090-9191-0150	15.00 m
ZK1090-9191-0200	20.00 m
ZK1090-9191-0250	25.00 m
ZK1090-9191-0300	30.00 m
ZK1090-9191-0350	35.00 m
ZK1090-9191-0400	40.00 m
ZK1090-9191-0450	45.00 m
ZK1090-9191-0500	50.00 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。



附图 15: ZK1090-6161-xxxx

表 8: EtherCAT 电缆, 2 x M12 连接器 (D 型编码), 完全组装

名称	长度
ZK1090-6161-0005	0.50 m
ZK1090-6161-0010	1.00 m
ZK1090-6161-0015	1.50 m
ZK1090-6161-0020	2.00 m
ZK1090-6161-0025	2.50 m
ZK1090-6161-0030	3.00 m
ZK1090-6161-0035	3.50 m
ZK1090-6161-0040	4.00 m
ZK1090-6161-0045	4.50 m
ZK1090-6161-0050	5.00 m
ZK1090-6161-0060	6.00 m
ZK1090-6161-0100	10.00 m
ZK1090-6161-0120	12.00 m
ZK1090-6161-0150	15.00 m
ZK1090-6161-0200	20.00 m
ZK1090-6161-0250	25.00 m
ZK1090-6161-0300	30.00 m
ZK1090-6161-0400	40.00 m
ZK1090-6161-0999	100.00 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。



附图 16: ZK1090-6292-xxxx

表 9: EtherCAT 电缆, M12 法兰 - RJ45 插头, 完全组装

名称	长度
ZK1090-6292-0005	0.50 m
ZK1090-6292--0020	2.00 m
ZK1090-6292--0050	5.00 m
ZK1090-6292--0100	10.0 m
ZK1090-6292--0300	30.0 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。



附图 17: ZK1090-3131-3xxx

表 10: EtherCAT 电缆, PVC, 完全组装, 2 x M8 连接器

名称	长度
ZK1090-3131-3010	1.00 m
ZK1090-3131-3015	1.50 m
ZK1090-3131-3020	2.00 m
ZK1090-3131-3030	3.00 m
ZK1090-3131-3040	4.00 m
ZK1090-3131-3050	5.00 m
ZK1090-3131-3075	7.50 m
ZK1090-3131-3100	10.00 m
ZK1090-3131-3150	15.00 m
ZK1090-3131-3200	20.00 m
ZK1090-3131-3250	25.00 m
ZK1090-3131-3300	30.00 m
ZK1090-3131-3350	35.00 m
ZK1090-3131-3400	40.00 m
ZK1090-3131-3450	45.00 m
ZK1090-3131-3500	50.00 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。



附图 18: ZK1090-3191-3xxx

表 11: EtherCAT 电缆, PVC, 1 x M8 连接器, 1 x RJ45, 完全组装

名称	长度
ZK1090-3191-3003	0.30 m
ZK1090-3191-3005	0.50 m
ZK1090-3191-3010	1.00 m
ZK1090-3191-3020	2.00 m
ZK1090-3191-3050	5.00 m
ZK1090-3191-3100	10.00 m
ZK1090-3191-3200	20.00 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。



附图 19: ZK1090-3100-3xxx

表 12: EtherCAT 电缆, PVC, 1 x M8 连接器, 1 x 开口端

名称	长度
ZK1090-3100-3010	1.00 m
ZK1090-3100-3020	2.00 m
ZK1090-3100-3050	5.00 m
ZK1090-3100-3080	8.00 m
ZK1090-3100-3100	10.00 m
ZK1090-3100-3200	20.00 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。



附图 20: ZK1090-3131-0xxx

表 13: EtherCAT 电缆, PUR, Highflex (高柔性), 2 x M8 连接器, 完全组装

名称	长度
ZK1090-3131-0001	0.13 m
ZK1090-3131-0002	0.20 m
ZK1090-3131-0003	0.30 m
ZK1090-3131-0004	0.40 m
ZK1090-3131-0005	0.50 m
ZK1090-3131-0006	0.60 m
ZK1090-3131-0007	0.70 m
ZK1090-3131-0010	1.00 m
ZK1090-3131-0013	1.30 m
ZK1090-3131-0015	1.50 m
ZK1090-3131-0020	2.00 m
ZK1090-3131-0025	2.50 m
ZK1090-3131-0030	3.00 m
ZK1090-3131-0040	4.00 m
ZK1090-3131-0050	5.00 m
ZK1090-3131-0055	5.50 m
ZK1090-3131-0060	6.00 m
ZK1090-3131-0070	7.00 m
ZK1090-3131-0075	7.50 m
ZK1090-3131-0090	9.00 m
ZK1090-3131-0100	10.00 m
ZK1090-3131-0110	11.00 m
ZK1090-3131-0150	15.00 m
ZK1090-3131-0155	15.50 m
ZK1090-3131-0165	16.50 m
ZK1090-3131-0200	20.00 m
ZK1090-3131-0205	20.50 m
ZK1090-3131-0250	25.00 m
ZK1090-3131-0285	28.50 m
ZK1090-3131-0300	30.00 m
ZK1090-3131-0350	35.00 m
ZK1090-3131-0400	40.00 m
ZK1090-3131-0450	45.00 m
ZK1090-3131-0500	50.00 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。



附图 21: ZK1090-3191-0xxx

表 14: EtherCAT 电缆, PUR, Highflex (高柔性), 1 x M8 连接器, 1 x RJ45, 完全组装

名称	长度
ZK1090-3191-0002	0.20 m
ZK1090-3191-0004	0.40 m
ZK1090-3191-0005	0.50 m
ZK1090-3191-0010	1.00 m
ZK1090-3191-0015	1.50 m
ZK1090-3191-0020	2.00 m
ZK1090-3191-0030	3.00 m
ZK1090-3191-0035	3.50 m
ZK1090-3191-0050	5.00 m
ZK1090-3191-0070	7.00 m
ZK1090-3191-0080	8.00 m
ZK1090-3191-0100	10.00 m
ZK1090-3191-0120	12.00 m
ZK1090-3191-0125	12.50 m
ZK1090-3191-0150	15.00 m
ZK1090-3191-0160	16.00 m
ZK1090-3191-0165	16.50 m
ZK1090-3191-0170	17.00 m
ZK1090-3191-0200	20.00 m
ZK1090-3191-0205	20.50 m
ZK1090-3191-0250	25.00 m
ZK1090-3191-0285	28.50 m
ZK1090-3191-0300	30.00 m
ZK1090-3191-0400	40.00 m
ZK1090-3191-0500	50.00 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。



附图 22: ZK1090-3100-0xxx

表 15: EtherCAT 电缆, PUR, Highflex (高柔性), 1 x M8 连接器, 1 x 开口端

名称	长度
ZK1090-3100-0020	2.00 m
ZK1090-3100-0030	3.00 m
ZK1090-3100-0050	5.00 m
ZK1090-3100-0070	7.00 m
ZK1090-3100-0080	8.00 m
ZK1090-3100-0100	10.00 m
ZK1090-3100-0150	15.00 m
ZK1090-3100-0300	30.00 m
ZK1090-3100-0400	40.00 m
ZK1090-3100-0500	50.00 m

有关供货长度, 请参阅产品目录、价格表或我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>)。

● 更多电缆

i 有关更多型号和长度的信息, 请访问我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>) 和价格表。

3.4.4 适用于 EtherCAT 系统的倍福插头连接器概览

倍福推荐 EtherCAT 系统使用下列插头连接器。

● 插头连接器的数据表和文档

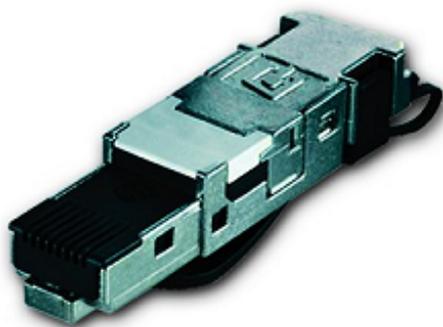
i 有关此处推荐的插头连接器的技术数据, 请参阅相关数据表和文档; 其可在我们的网站 (<https://www.beckhoff.com/accessories>) 上下载。

表 16: 推荐的插头连接器, 概览

名称	插头
ZS190-0003	RJ 45 连接器, 4 针, IP 20, 适用于现场组装
ZS190-0005	RJ45 连接器, 8 针, IP 20, 适用于现场组装, 适用于千兆以太网
ZS190-0004	M12 连接器, 4 针, IP67, 适用于现场组装, D 型编码
ZS190-0006	M8 连接器, 4 针, IP67, 适用于现场组装

ZS1090-0003

附图 23: RJ 45 连接器, 4 针, IP 20, 适用于现场组装

ZS1090-0005

附图 24: RJ45 连接器, 8 针, IP 20, 适用于现场组装, 适用于千兆以太网

ZS1090-0004



附图 25: M12 连接器, 4 针, IP67, 适用于现场组装, D 型编码
ZS1090-1006



附图 26: M8 连接器, 4 针, IP67, 适用于现场组装
推荐的控制柜馈通装置
ZK1090-6292-0000



附图 27: RJ45 接口上的 M12 接口, 直式出口
ZK1090-6294-0000



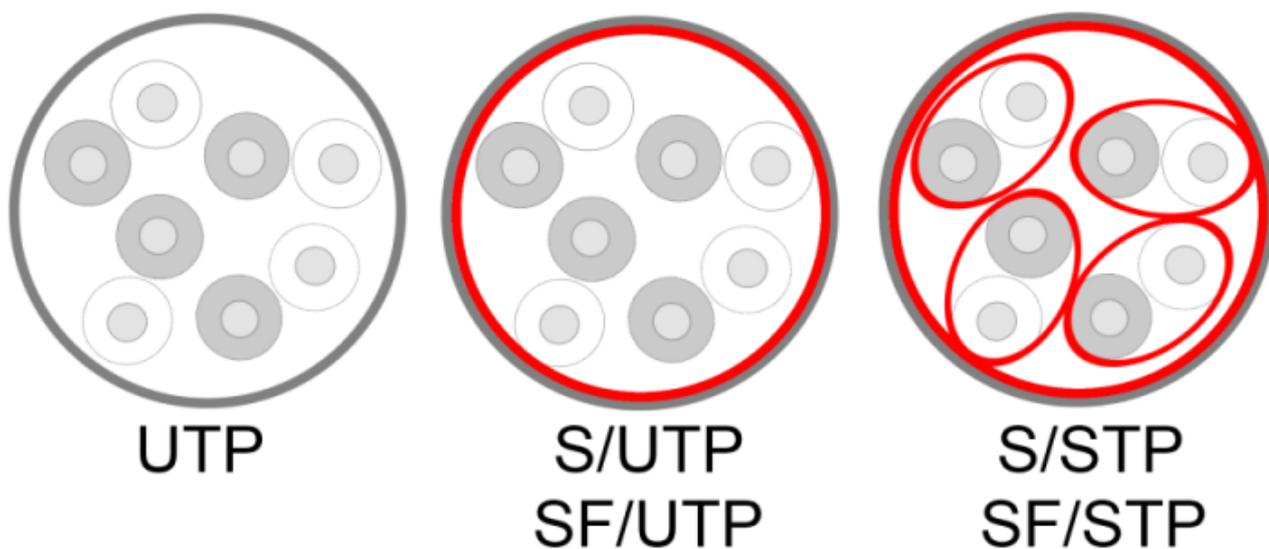
附图 28: RJ45 接口上的 M12 接口, 90° 角出口

● 过渡点应尽可能少

优先选择只有一个过渡点的控制柜馈通装置，即简单的插头/接口转换（参见 ZK1090-6292）

3.4.5 关于屏蔽的备注

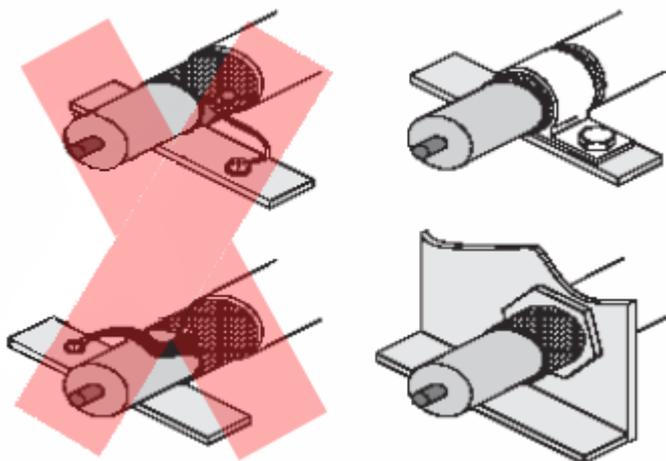
IEC61158-2 标准，特别是 IEC61784-5 EtherCAT 安装设定档要求 EtherCAT 传输链路使用全面屏蔽电缆。这也符合通信电缆的一般技术水平。所谓双绞线介质中的扭曲和差分传输提供了基本的抗干扰能力，而传输链路周围的整体屏蔽则支持无干扰数据传输。除此之外，在更高的连接等级（Cat6、Cat7）中，甚至还使用了单对屏蔽电缆。



附图 29: 4 对电缆结构: 非屏蔽 UTP, 整体屏蔽 S (F)/UTP, 整体屏蔽和屏蔽线对 S (F)/STP

以下说明符合最新技术水平。可参考 VDI 指南、EN/IEC 标准或 EMC 指南。

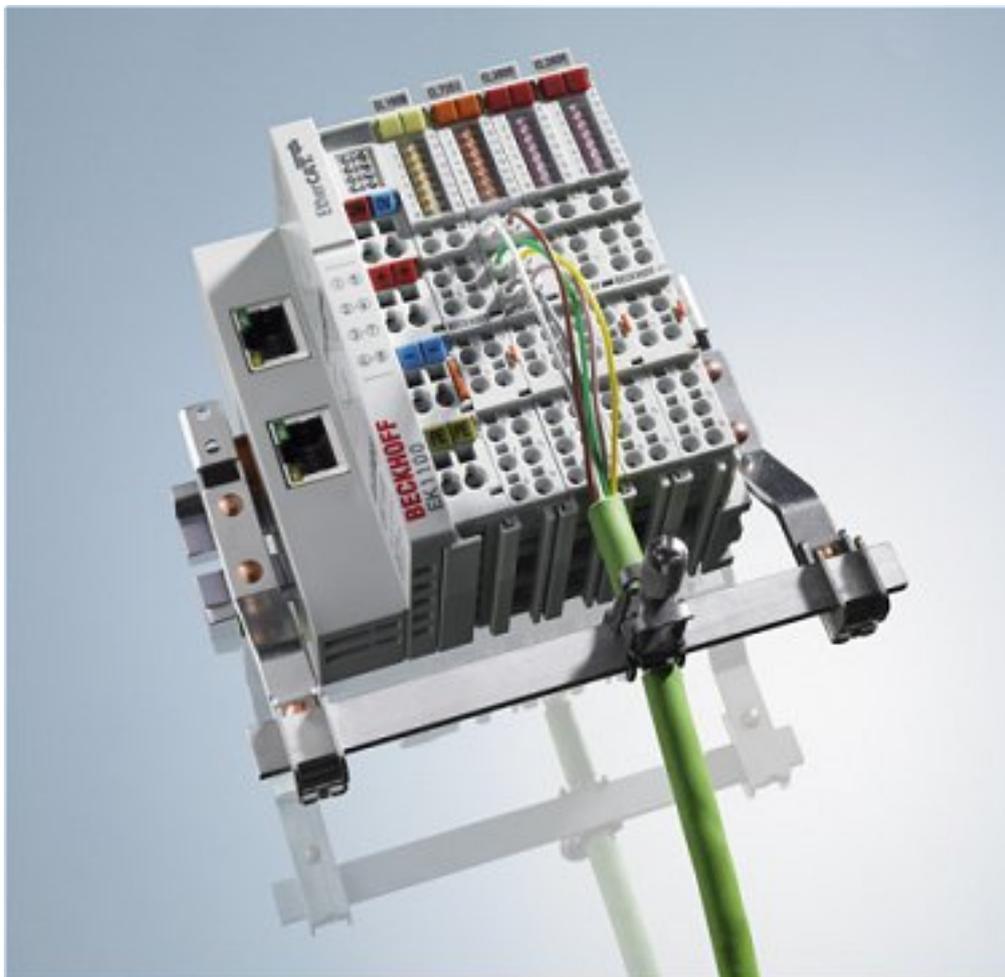
- 芯对周围的整体屏蔽为密封通信芯线提供抗外部电磁干扰场的保护。为了保证有效性，屏蔽覆盖在整个过程中具有低阻抗是重要的，并且在部署过渡点也没有中断或孔洞（EN50174-2:2009，第 4.7 章）。本文档所指的孔洞是指大约几厘米的未覆盖区域。
- 屏蔽应在电缆每端通过大表面积和低阻抗的导电连接与机器接地相连。避免出现屏蔽线被绞合在一起并仅通过点接触连接的情况。



附图 30: 建议的屏蔽连接

- 如果屏蔽没有接地，就无法防止磁场影响。

- 必须在工厂设施中进行充分的平行接地，以确保没有均衡电流通过通信电缆的屏蔽。这会破坏连接设备。
因此，以太网设备可以在内部用 RC 组合将屏蔽与接地连接。这样可以防止静态均衡电流，同时消除高频干扰。
为此提供支持，通信电缆的屏蔽应在控制柜入口点额外以低阻抗接地，必要时还应在设备上以适当方式接地。
倍福在 ZB8500 产品组中提供了相应的安装材料。



附图 31: 正确的屏蔽连接

- 屏蔽接触也应出现在过渡点（如插头 → 电缆、耦合），并应将其 360° 包裹。
- 屏蔽材料不得用于应变保护。
- 要使用合适的材料（最好是铜）作为屏蔽材料。如果使用铝，则必须考虑铝的特殊特性。
注：如果是铝箔版本，用于工业以太网的铝箔始终由铝制成。
- “耦合衰减”屏蔽效果，即定性效应或实施，目前（2011 年）一般无法在现场或已安装电缆上测量。通常的测量仪器/验证器仅限于进行静态连续性测量。除此之外，还有一些众所周知的标准化实验室辅助测量方法，例如管中管或排水线法，这些方法也可以确定屏蔽的高频特性和衰减行为，从而可以检查是否符合耦合衰减 >40dB 的要求 (EN50174-2:2009, 30-100 MHz)。然而，在工业中批量使用这些方法并不经济适用。因此，从执行开始就必须确保完美的工艺。

屏蔽效果不足可能会通过传输误差的形式显现。通过 EtherCAT 主站 TwinCAT 和 EtherCAT 从站中的诊断手段，可以对此类缺陷进行持续、深入的定位。请遵守 [EtherCAT 系统文档](#) 中的相关说明。

● 光纤电缆/光耦合器

i

在组件之间使用以太网光纤电缆可为棘手的 EMC 环境提供解决方案。

3.5 组装说明

目前，倍福正在撰写“EtherCAT”组装指南。除其他事项外，它将涉及

- EMC 合规组装，干扰抑制措施
- 导体间距
- 屏蔽概念
- 弯曲半径（会影响屏蔽效果！）

3.6 以太网电缆段的设计

一个 EtherCAT 网络通常由一个主站和最多 65535 个从站组成。主站单独管理从站，并且在需要冗余的情况下，可由第二个主站替代。

设备之间的电气通信可以通过以下方式实现

- 基于以太网为基础的点对点连接（在此讨论） - 可通过电缆连接识别
- 在可堆叠模块设备之间以 LVDS (E-bus) 为基础；此处通常无需电缆连接

在设计 EtherCAT 网络时，对于所用循环时间，必须考虑到下列因素

- 设备的最大数量（最多 65535 个）
- 各设备之间以太网接线的最大允许电缆长度（参见下文）。
电缆长度造成的传播延迟是其次重要的，可以使用约 550 ns 的 100 m 以太网电缆。
- 以太网帧通过输出和返回路径上所有实时从站的循环时间。每个从站的数量级范围可假定如下：
 - 对于以太网设备：约 1 μ s
 - 对于 E-bus 设备：约 300 ns
- 所配置设备寻址的以太网帧长度之和。

在 EtherCAT 网络中，完全不需要使用集线器和交换机来阻滞循环时间（ISO 第 2 层），也不需要路由器进行分段（ISO 第 3 层）。

● 设计规则

I 帧长和周期时间_{总和}应短于到下一个传输点的可用时帧。

例如，倍福系统管理器会提供有关当前帧配置的详细信息。根据实时质量和过程数据的范围，可能有必要保持在上述指定值以下。

请注意有关分布式时钟设置的注释！

以太网接线的单根电缆长度可设计如下。

在每种情况下，以太网电缆段都是两个智能终端设备之间的点对点连接，其中发送端向接收端发送一个新生成的帧。FastEthernet/100Mbit 通常以全双工模式工作，因此双方可以在不同的电缆上同时接收和发送。就拓扑结构而言，工业环境中的 EtherCAT 接线与办公室中的接线几乎没有区别。然而，为了提高运行可靠性，现场通常会减少两个以太网终端设备之间的跳线架或过渡点的数量，但这会影响灵活性。

与传输性能相关的边界条件有：

- 环境/工作温度
- 端点之间的插头连接（单/双）数量
- 使用的电缆类型（刚性/柔性芯或其电气特性；数据表应可用）
- 电缆段受到的外部影响（电磁场、电缆并联安装、花环状物或拖链安装、化学影响等。）
- 100Base-TX 以太网允许的最大链路总长度为 100 m；注：根据所使用的电缆材料，实际可达到的链路长度可能远低于或高于该值 - 但在这种情况下，应用可能需要应对更长的传播延迟
- 下面提到的设计方法是指 EN50173-1 和 3，也适用于工业领域。
- 应对已安装电缆段进行测试；prEN50346:2001 中介绍了各种测试方法

理论实施：

供参考：对于根据 EN50173 标准“精确”标注的电缆段尺寸，标准中规定的等式按以下顺序排列：

- 要求：允许的剩余柔性电缆段 [m]
- 给定：已知的插头连接数量、已知的永久安装电缆段电缆长度、所有所用组件的技术数据（尤其是衰减）

根据拓扑结构的不同，有两个电缆段可用于此目的：

- 标准建筑接线，传输链路内最多 4 个跳线架：EN50173-1 第 5 章或附录 A
- 直接接线，无跳线架：EN50173-3，附录 B
- 这些组合以及双耦合器/墙壁馈通装置的使用：EN50173-3，附录 B
注：使用墙壁馈通装置（双耦合器版本）时，指定使用 6 类组件以实现 EN50173 D 级连接链路！墙壁馈通装置（单插头连接器版本）不受此限制约束。

具体实施:

使用来自 EN50173 的公式精确计算允许电缆长度在现场几乎无法使用。因此，这里不做介绍。建议您遵守符合 EN50173 标准的拓扑规范（参见传输链路 [▶ 13] 一章）；**您必须自行对不同设计的接线进行认证。**根据 EN50173 标准，与 EtherCAT 相关的规范如下：

- 至少采用 EN50173 D 级组件（电缆 + 连接器/接口）
- 最长 90 m 的永久安装电缆（传输性能较好），外加最长 2 x 5 m 的柔性设备连接电缆（传输性能较差）
- 信道内最多 4 个插头连接（1 个连接器 = 插头/接口转换）+ 2 个末端插头连接器
- 温度范围为最高 60° C
- 组件制造商发布的更多环境条件

● 关于所用电缆的说明

I 上述规格会增加使用 > 5 m 柔性电缆的难度，例如用于拖链。经验表明，根据 EN50288-2-2“跳接电缆”标准，真正的传输链路从 50 m 左右的长度开始就会出现衰减问题。因此，倍福提供适用于拖链/柔性电缆的电缆，尽管是绞合电缆，但非常接近 EN50288-2-1 标准中针对永久安装/刚性电缆的 EN50173 要求。

因此，使用柔性电缆也可以实现符合 EN50173 标准信道限值的 100 m 信道长度。但建议进行验收测试。

4 调试

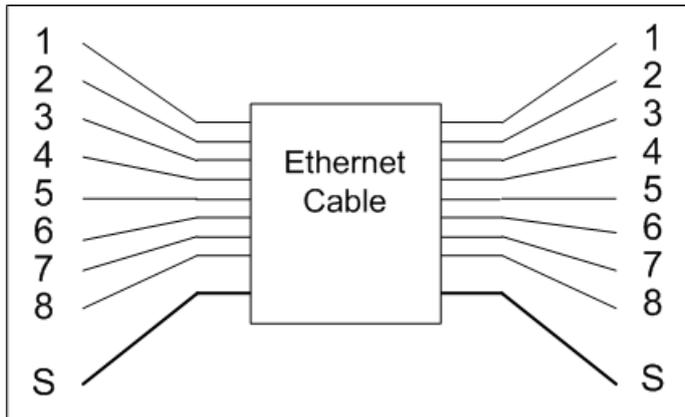
4.1 电缆段的测量

与 EtherCAT 一起使用的以太网段之建议验收说明

对于包含电缆和连接器的电缆部分，可根据现有测试设备分几步进行接收测量：

1. 使用连续性试验器进行验证

可以指示以下问题：错误的接线、屏蔽接触不良、接触不良、接触点脏污。



附图 32：连续性测试

2. 链路控制

以太网设备具有光学 LINK 指示灯（通常直接在接口上），它直接显示两个端点之间是否能够通过交换空闲符号建立点对点连接。



附图 33：以太网设备上的链路 LED

3. 认证

使用验证器进行宽带测量：表明分配不正确、缺乏屏蔽接触、接触不良、触点脏污、电缆/插头损坏、现场配置的插头连接不良。

必须确保设备正确调整！

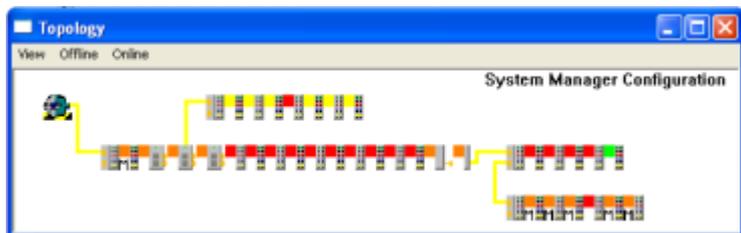


附图 34：电缆验证器示例说明

4. TwinCAT 运行测试

通过 TwinCAT 可以在软件层面发现以下几种故障模式：

- 耦合器上的LINK LED、EtherCAT 从站的LINK检查或 EtherCAT 设备状态中的LINK状态：接触不完全、芯线分配不正确
- 丢帧/CRC 错误：接触不良、运行中的屏蔽效应、老化、EMC 影响



附图 35：TwinCAT 诊断

i 测量说明

- “屏蔽测量”通常只是静态连续性测量。目前（2011 年）无法在现场测试电缆屏蔽的有效性；参见屏蔽说明 [▶ 31]。
- 在高频测量过程中不得移动测量设备/电缆
- 应使用连续性测试仪有目的地查找插头接触不良/电缆破损的情况

测试设备

以太网接线的测试可以采用验证、鉴定或认证的形式。为此，市场上有各种供实验室和现场使用的测试设备。

测试	范围	价格范围
验证	连续性、破损、短路和接线的低频/静态测试	< 100 €
鉴定	“窄带”测试某种网络技术（如 100Base-TX）是否可以实施	
认证	根据标准进行宽带测量；测量设备必须具有重复性高测量精度	约 €8000 至任意金额

在手工安装领域，验收测试测量通常使用可在 10 至 20 秒内检查以太网电缆的验证器。

i 现场检验器的精确性

根据 EN61935-1，精度等级为 IIE 或更高（III、IIIE、IV）的现场检验器可用于根据 EN50173-1 标准对性能等级为 D 的传输链路进行认证。请注意，测量设备实现/保证的测量不确定度通常在 1 至 5 dB 范围内，具体取决于频率和测量（请参阅设备制造商提供的相应信息）。只要测量设备确定的测量值在测量精度各自的 +/- 限值范围内，测量说明就应被视为严谨。测量设备不能将结果评价为绝对“好”或“坏”，而只能评价为可能“好”或“坏”。

4.2 认证说明

无论使用何种认证设备，建议采用以下实用方法对现场配置的 EtherCAT 快速以太网接线段进行认证（包括终端连接器测试）：

- 限值：建议使用 EN50173-1 D 级的**信道限值**，已实现最大频率为 100 MHz 的信号覆盖整个电缆段。不过，根据标准规范要求，在测量设备进行信道测量期间和在测量设备上使用适当的**信道适配器**（“连接器补偿”）时，相应的末端插头不计入计算。由于末端插头可能是重要的误差源，尤其是在现场配置的电缆没有中间跳线架/转换点的情况下，因此在测量时应将这些因素考虑在内。
- 提示：根据所使用的测量设备，这将在测量开始时检查末端插头，仅将其屏蔽，或者如果末端插头的特性足以满足性能等级的要求，则继续进行信道测量。
- 使用**永久链路测量适配器**虽然不那么值得推荐，但也不失为一种替代方法。在永久链路测量的情况下，端部插头连接会按照标准包含在内；然后需要 2 个双耦合器用于连接电缆段/被测设备 (DuT)。
- 如果您的测量设备无法将永久链路适配器和信道限值结合在一起，则可以使用实现最大 100 MHz 信号的**永久链路限值** EN50173-1，附录 B D 级作为替代。由于永久链路限值比信道限值“严格”几个 dB，因此，尽管使用了 2 个双耦合器，如果根据永久链路限值进行的测试结果为通过，则通常也符合信道限值。
- 如果在测量设备上使用永久链路适配器时必须使用以太网双耦合器，则必须使用高质量全金属执行（至少 EN50173 Cat. 6），以使测量尽可能透明。
- 大约从 2012 年开始，一些检测器就可以使用**跳接电缆适配器**。这样就可以直接对短的点对点连接（“跳接电缆”）进行认证，而无需屏蔽末端插头。然后必须在测量设备中使用 **TIA/SIO 跳接电缆限值**。请注意：就跳接电缆测量而言，根据 TIA/ISO 标准，某些测量结果仅供参考，不再作为 PASS/FAIL（合格/不合格）判定的依据。
- 因此，**M12-CAT5e 适配器**可用于测量 M12-M12 跳接电缆。
- 为获得认证，所使用的测量设备至少应达到符合 IEC61935-1 标准的 III 级精度。

有关双绞线缆验证器测量的说明

有关电气限值的规格，请参阅**电缆规格** [▶ 17]。

以太网电缆的测量必须以符合 prEN50346:2001 标准的形式进行。

● 设置限值/限值数据记录

i

- ✓ 一条限值数据记录由多条不同的限值曲线组成，例如电阻、延迟时间、NEXT 等。
取决于设定的限值数据记录

- 各测量值处于活动状态
- 测量仅供参考（例如符合 EN50173 信道规范的长度测量）
- 或必须满足（如符合 EN50173 信道规范的衰减测量）
 - ⇒ 每个数据记录都将会触发复杂测量，从而产生多色图表；用户有责任根据具体情况选择正确的限值。

● 参数的频率依赖性

i

下面显示的大多数参数均在给定频率范围内测量得出。在评估结果曲线 $f(f)$ 时，必须考虑到快速以太网并非以恒定频率工作，请参见以太网基本原理。

测量	说明
接线图	对所有连接芯线 1-8 进行连续性测试，屏蔽 例如，如果测量的是 4 芯电缆，但设备中指定的是 8 芯电缆，则接线图测试以及随后的所有测试都将失败。
电阻	DC 电阻/回路电阻 ，给定单位为 $\Omega/100\text{ m}$ 正常：12 $\Omega/100\text{m}$ @AWG22, 19 $\Omega/100\text{m}$ @AWG26
长度	通常通过 NVP 测量，因此必须在电缆数据中正确输入，以便测试。 NVP（正常传播速度）：信号在电缆中的传播速度与光速之比；通常为 60 - 80%，需要从电缆数据表获取。主要由“绞距长度”和扭曲程度决定，例如，2 m 的以太网电缆每芯包含 $2+x$ m 的绞线。NVP 值越大，电缆元件的扭曲程度越小。 根据 EN50173 标准，电缆长度实际上并不是一个临界值，但会通过长度相关的特性值（如衰减）导致电气问题，或通过与传播延迟相关的过程导致协议问题。
传播延迟	信号在电缆中的传播延迟所致。如果要在 100 m 的以太网电缆上进行永久链路测量（规定的最大限值为 90 m \gg 通常 498 ns），则会出现问题。
差分信号延迟时间	一个芯对信号传播延迟中的时间延迟。如果可能，应为 0 ns。
插入损耗 衰减	用于评估 电缆 特性的参数： <ul style="list-style-type: none"> • 衰减会降低每米电缆的信号幅度 • 衰减是以 [dB/100m] 为单位的正值 - 这里数值越小越好 • 衰减与频率有关：频率越高，电缆的（实际）衰减越大。因此，发射器发出的原始方形信号被平滑成众所周知的“眼睛”形状 - 接收器必须使用均衡器恢复信号 • 3 dB 的衰减相当于约 50% 的功率损失 • 衰减增加 <ul style="list-style-type: none"> - 如果电缆变细（AWG 数值增加） - 如果电缆有屏蔽层（寄生电容） - 如果使用绞合线芯而不是刚性线芯 EN50173 允许根据用途（永久安装或设备连接 = 跳接电缆）使用不同的衰减等级，请参见限值记录。用于定向（根据 EN50288-2:2003 标准） <ul style="list-style-type: none"> • 永久安装电缆：21.3 dB/100m @ 100MHz（也可根据此规格提供用于移动操作的绞线执行电缆！） • 跳接电缆/设备连接：32 dB/100m @ 100MHz 注意：这些不是 EN50173 标准规定的完整电缆段的限值！
回波损耗	传输到电缆中的电波部分会被缺陷反射回发射器。缺陷可能出现在材料中，也可能出现在插头转换处。回波损耗是指传输到电缆中的信号与反射回来的信号之间的差值。 <ul style="list-style-type: none"> • 测量到的回波损耗越高越好；衰减越大，（再）接收信号的值就越小 • 数量级范围：10 dB/100m @ 100 MHz（EN50173 信道 D 级测量）。
NEXT PS NEXT	NEXT（近端串音）描述了一个芯对与邻近芯对之间的串音程度。测量时，通过芯对 X 传输已知强度的信号，并测量所有相邻芯对的辐射。 <ul style="list-style-type: none"> • 因此，4 个芯对可以产生 6 种组合。 • 因此在两端测量 NEXT（NEXT、FEXT）可确定 12 条结果曲线 $f(f)$。 • NEXT 的测量值为负数，单位为 [dB/100m]：该值描述了相邻导线对上接收信号的“体积”与发射功率的关系 - 该值越负越好。 • 为便于说明，NEXT 通常为正值，不带符号；正值越大越好。 • 电缆越长，对 NEXT 就越敏感。 • 由于良好的扭曲可以防止 NEXT，因此插头连接尤为重要：插头中几毫米的未扭曲芯对都会对测量值产生重大影响。 注意：一个插头/接口转换已经产生了 1-2 cm 的解捻分段！ • NEXT 取决于电缆段的定向：卷绕电缆与未卷绕和拉伸电缆会产生不同的 NEXT 结果。因此，最好在安装完成后进行 NEXT 测量。 每个芯对的 PSNEXT（PowerSum 功率累加 NEXT）计算结果是所有其他芯对串音的总和。 <ul style="list-style-type: none"> • 如果 PSNEXT 为正数应用于说明，则数值越大越好。 • PSNEXT 曲线通常比 NEXT 测量结果差几个 dB。

测量	说明
ACR-N ACR-F, ELFEXT PS ACR-N、PS ACR-F	<p>ACR-N（衰减与串音比，近端）的计算方法是，每个电缆对的 NEXT 测量最差结果与衰减测量结果之间的差值作为频率 $f(f)$ 的函数。因此，它近似于最差信噪比，是评估传输链路质量的一个重要参数。它针对每个芯对计算。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 数值越大越好 - 接收器可以更清楚地从干扰中分辨出想要的信号。 • ACR-N 值为 10 dB 时，可以说是一个很好识别的信号。 <p>ACR-F（衰减与串音比，远端）受与长度有关的衰减影响，并从 NEXT 中归一化为包含长度无关值的衰减。它也被称为 ELFEXT（等电平远端串音）。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 数值越大越好。 <p>PS ACR 的计算方法是 PS NEXT 与插入损耗之差，意味着电缆对的整个信噪比。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 数值越大越好。

4.3 测量设备

4.3.1 有关测量设备的说明

以下是以实践为导向的电缆测量设备的具体使用提示。

● 更改设置

I 下一章将介绍第三方制造商的产品。应优先考虑相应的操作手册。下面给出的测量设备设置数据在编写本文档时是有效的，但测量设备制造商可能会在短时间内更改固件/程序用户界面。以下说明应视为制造商操作手册的补充。

Fluke DTX1800

测试设备：Fluke DTX1800，制造年份 2008，软件 2.1200，硬件 12，DTX 限值 1.3400。

测试开始前，需要对该电缆验证器进行以下设置：

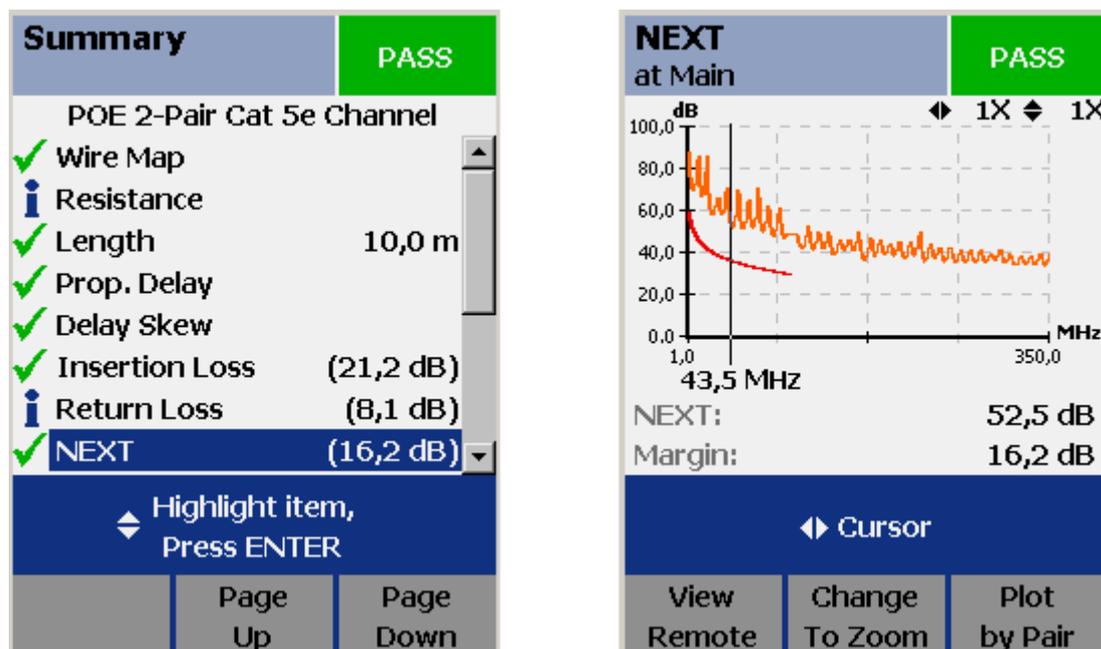
- **适配器：**可将待测电缆与测量设备连接的硬件：永久链路、信道和跳线适配器。
- **电缆限值：**可提供各种标准（ISO、TIA、中国等）和连接（信道、永久链路、跳线等）的限值数据记录。
这种限值记录（“限值”）由存储在测试设备中的等式组成，用于根据 EN50173 规定的频率（1 - 100 MHz，D 级）进行各种测量（回波损耗、NEXT、ACR 等）。
- **电缆类型：**2 对或 4 对，NVP
- **连接器引脚分配：**TIA568A/B、2 对、POE 等。

在 EtherCAT 应用中，正常测试对象（CuT - 被测电缆）可按如下方式验收：

- 以太网电缆段 0.5 - 100 m
- 中间最多 6 个连接器或最多 3 个双耦合器
- 符合 EN50288-2 标准的 4 芯屏蔽电缆
- 两端都有 RJ45 插头
- 线芯分配 1、2、3、6+ 屏蔽，符合 TIA-568B 标准
- 任意混合刚性和永久安装电缆（遵循设计说明）

以下设置已被证明符合标准，可用于（可能是现场配置的）以太网-EtherCAT 电缆段的认证：

- **适配器：**信道适配器 DTX-CHA001A
原因：与跳接电缆适配器不同，使用 CHA001A 可以测试屏蔽连续性。根据 Fluke，自 2008 年 11 月起，只有当末端插头满足性能等级的电气要求时，才会进行信道测量中规定的连接器补偿。因此，无需使用永久链路适配器和双耦合器。
- **电缆限值：**“POE 2 对 Cat5e 信道”
原因：需要符合 EN50173-1 信道等级 D 的电缆限值和双对线的连接。DTX1800 可通过此限值记录实现这种组合。规定的限值记录在所有相关频率范围内的数据对应于“EN50173，信道 D 级”，但允许根据 1-2-3-6 减少电缆分配。
使用的是 2008 年 11 月的限值记录（DTX 限值）1.34。
- **电缆**
 - 对于倍福 ZB90x0 电缆，必须创建一条 # 2 对/4 芯
 - # NVP = 62%（根据电缆供应商的数据）的“用户定义”电缆
 - 如有必要，请从制造商数据库中选择一条 4 对/8 芯电缆
- **连接器引脚分配**
 - “以太网 2 对”（已在数据库中定义）或用户定义的“TIA568B”，不含触点 4-5 和 7-8。
 - 或完全分配电缆的正常 TIA568B 引脚分配



附图 36: Fluke DTX1800 屏幕截图

● 检测干扰

i 在“监控”运行模式下，DTX1800 可以检测传输链路上的穿插干扰。为此，必须使链路停止运行，并在两端连接测试设备。

4.3.2 使用 DTX1800/DSX5000

● 更改设置

i 下一章将介绍第三方制造商的产品。应优先考虑相应的操作手册。下面给出的测量设备设置数据在编写本文档时是有效的，但测量设备制造商可能会在短时间内更改固件/程序用户界面。以下说明应被视为对制造商自己的操作手册的补充。

下面以使用 FLUKE DTX1800 对以太网传输链路进行认证为例进行说明。

测量

- 用电缆段连接主设备和远程设备
 - 信道适配器 DTX-CHA001A 或者
 - 跳线适配器 DTX-PC5ES （建议使用）
- 同时打开两个开关；必要时提前充电，或使用供电设备进行操作
- AutoTest（自动测试）选择器开关
- 按 Test（测试）
- 必要时在测试后 Save（保存）

更改设置

- Setup（设置）选择器开关
- 更改设置，如测试限值，请参见制造商文档
- AutoTest（自动测试）选择器开关

辐射测量

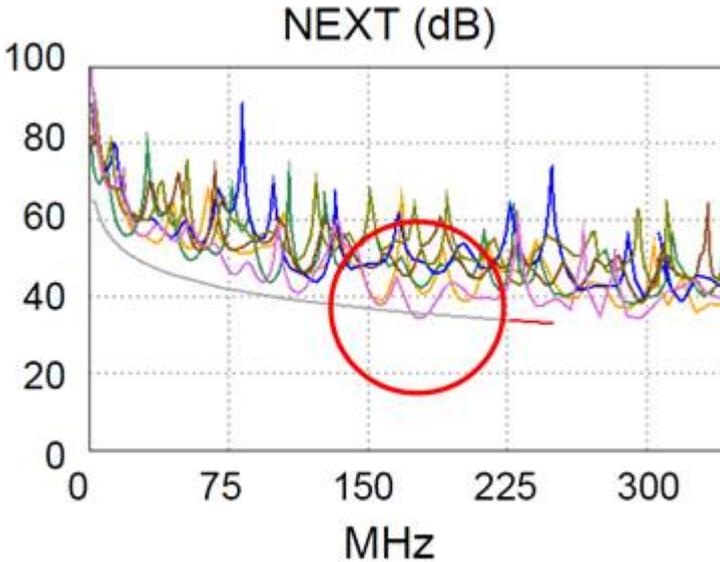
- 用电缆段连接主设备和远程设备
- 同时打开两个开关；必要时提前充电，或使用供电设备进行操作
- Monitor（监控器）选择器开关

- 现在可以观察到电缆段上的辐照情况

应相应使用后续设备 DSX-5000。

4 dB 规则/适用于 NEXT/ACR 的 4 dB 规则

有时可以观察到，即使NEXT（或其ACR和PS）明显超出限值，某段仍被声明为通过（PASS）。



附图 37：从 4 dB 插入损耗评估 NEXT/ACR

其原因可能是 4 dB 规则。这只包含在根据 ISO11801/EN50173 进行的测试中；TIA 不知晓这一规则。该规则的措辞如下：只要电缆段的插入损耗 < 4 dB，就不对 NEXT/ACR 进行评估。为便于识别，只要插入损耗 < 4 dB，限值线就以黑色显示。只有当其超过 4 dB 时，限值线才会被变为红色，并被称为 PASS/FAIL。

Summary		PASS
ISO11801 PL max Class D		
✓	Wire Map	
✓	Resistance	
i	Length	6.0 m
✓	Prop. Delay	
✓	Delay Skew	
✓	Insertion Loss	(17.8 dB)
i	Return Loss	(0.3 dB)
i	NEXT	(-9.7 dB)
Highlight item, Press ENTER		
	Page Up	Page Down

附图 38：NEXT 测量值以“i”表示（参考值）

NEXT 测量值只显示参考值“i”。另请参阅 Fluke 知识库 <http://www.flukenetworks.com/knowledge-base> 建议：

- 应就具体项目是根据 TIA 还是 ISO/EN 进行认证（即是否采用 4 dB 规则）达成一致意见，
- NEXT/串音是与功能相关的电缆段属性。由于在技术上可以创建不违反 NEXT 的电缆段，因此不使用 4 dB 规则进行测量是非常有用的。

回波损耗 3 dB 规则

与上述 4 dB 规则相同，只要插入损耗 < 3 dB（与频率有关），回波损耗违规也会被忽略。这适用于 TIA、ISO 和 EN 测试。

<http://www.flukenetworks.com/knowledge-base>

4.4 故障排除

如果电缆长度存在误差，我们建议采取以下步骤：

1. 用替代电缆代替安装电缆并测试运行。
替代电缆应具有经验证的闻名质量，并应小心处理。
替代电缆不得与调查安装电缆平行铺设，应与前导管保持适当距离。
替代电缆的屏蔽层应是新的，如果适用，应与其他连接点连接。
必须注意与线路衰减有关的电缆最大允许长度。
2. 如果可以用替代电线建立操作，则可以逐步定位错误原因：
 - 安装电缆的后测量 -> 认证
 - 电缆布线
 - 过渡点
 - 屏蔽/屏蔽连接

认证结果的解释

- “衰减”错误通常来自电缆：太长/衰减过大。
- “NEXT”错误通常来自插头：接触不正确、过度解捻。
- 各线对之间的 DC 电阻不同 --> 电缆损坏、接触不良
- “RL”错误可能来自插头接触不良。
- RL 错误可能来自移动应用中内部电缆损坏。
- 以太网电缆中打结会影响特性阻抗！

快速以太网和电缆参数



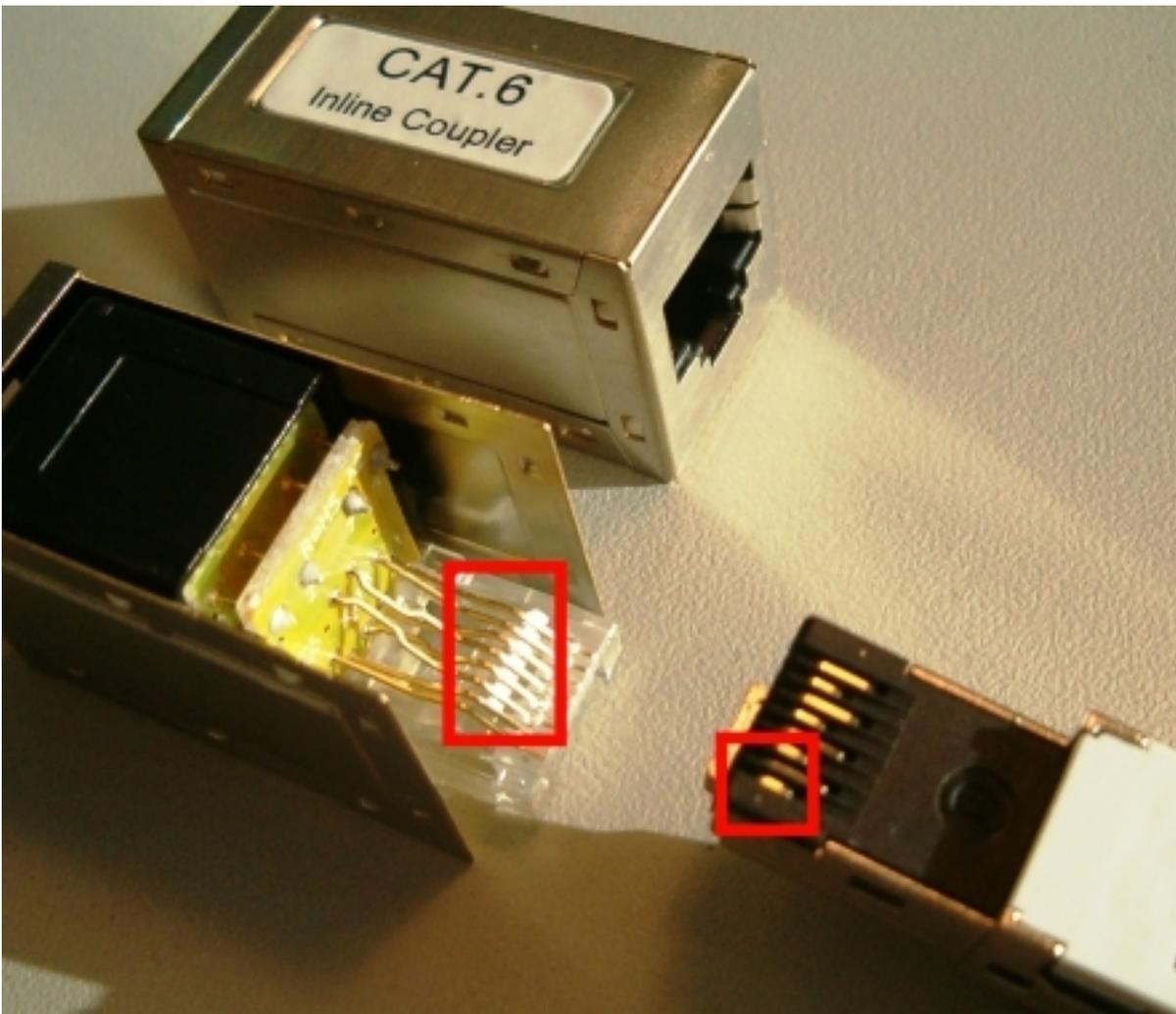
在 100 Mbit 以太网中，4 个线对（如果有的话）中只有一个用于传输，另一个用于接收，而且往往不是同时进行 - 串音效应主要取决于使用程度（帧数、帧长与电缆长度）等因素。特别是在 1 GBit 及以上以太网的情况下，由于线对同时双向运行，因此指定参数变得非常重要。

实践经验

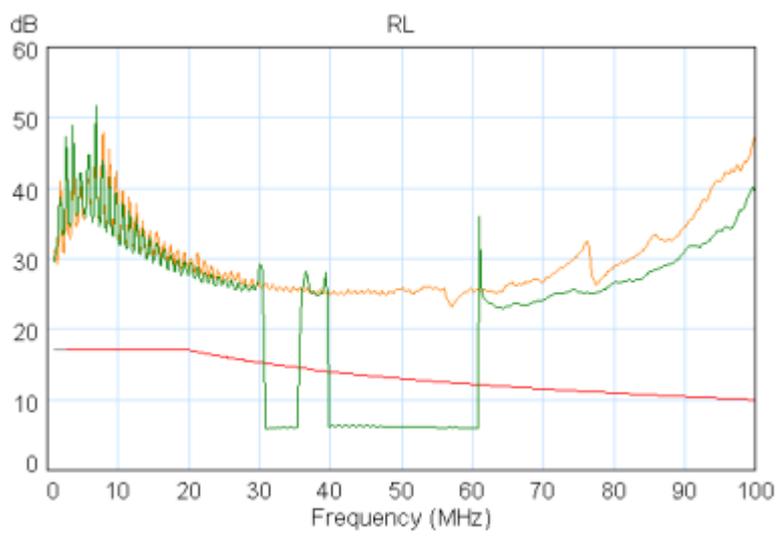
- 不完整的电缆屏蔽
根据 EN50288/EN50290 标准，电缆仅在出厂时进行了分段屏蔽，或制造时覆盖范围不足。
- 可现场配置的插头与所用电缆不匹配
如果芯线直径太小，绝缘位移触头可能无法穿透金属导体，只能切到绝缘层的一点。
- 兼容性
尽管有规范要求，RJ45 插头和接口在功能上并不兼容，且容易出现接触不良的情况。
- 无接地触点的墙壁馈通装置
如果将金属双耦合器作为墙壁馈通装置插入涂漆外壳，则缺少用于系统接地的屏蔽触点。
- 装配工具错误
压接工具和 RJ45 插头均需经制造商认可。
- 电缆损坏
不合适的电缆可能会因反复移动而损坏；这在外表上可能看不出来。

示例 - 插头连接不兼容导致接触不良

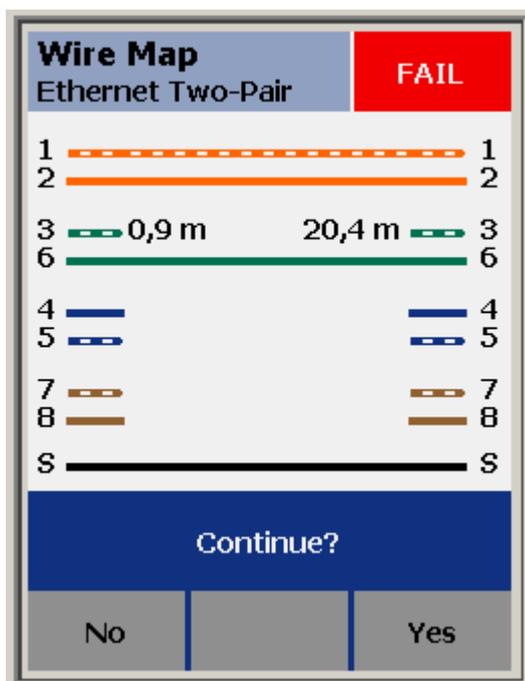
在下面的示例中，插头中的触点太短，以至于接口中的弹簧触点在插头/接口连接完全按压并拢时被推到可靠触点之外。在接线图测量过程中，这可能已经作为一个破损芯线被注意到。



附图 39: 可现场配置的插头，双耦合器



附图 40: 回波损耗测量期间接触不良的影响

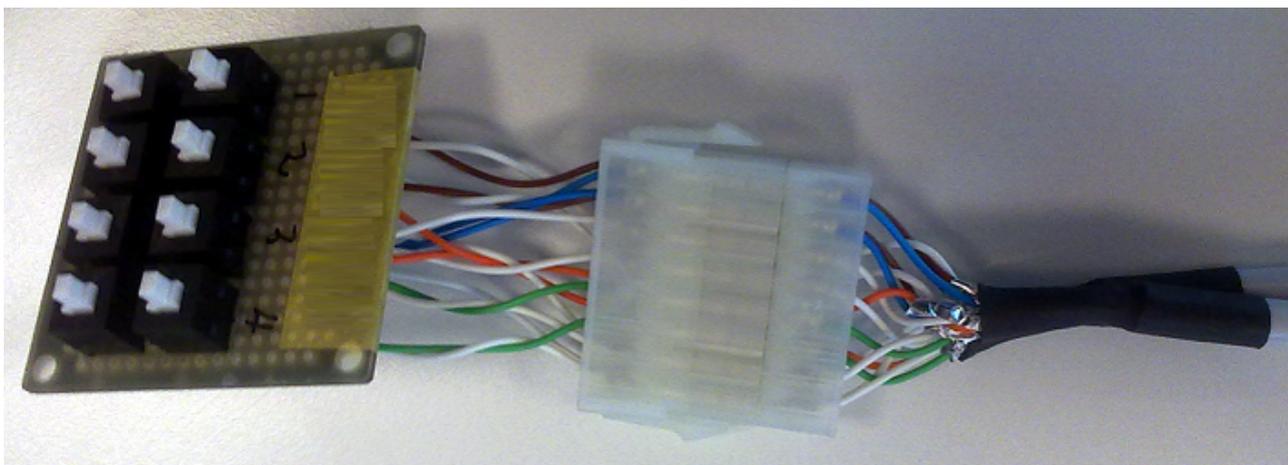


附图 41: 1 m 设备连接电缆后因双耦合器造成的 WireMap 错误

示例 2 - 用于诊断测试的固定装置

在下面的示例中，我们制作了一个固定装置，专门用于针对以太网电缆中产生传输误差以进行测试。然而，由于忽略了所涉及的高频方面，以及使用了不适合高频的组件，这种设置对传输性能最为不利，这在测试中一目了然。因此，即使电缆长度很短，传输链路也有可能无法工作。详述：

- 屏蔽中断，结构不在屏蔽外壳内
- 多厘米长的平行解捻芯线布线
- 不适合高频的插头连接和开关元件
- 焊接轨道布局不适合高频
- 没有固定芯线，测量结果无法重现



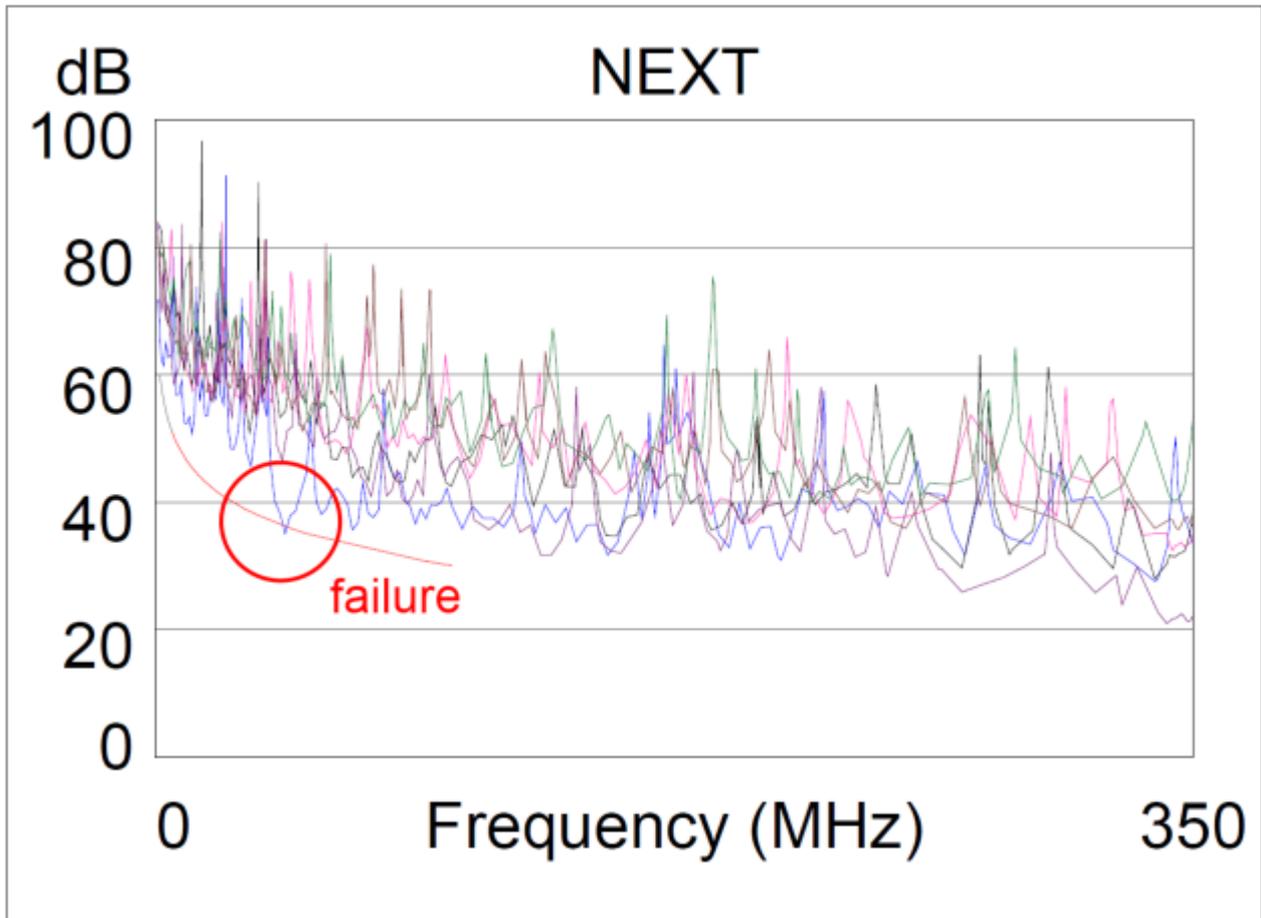
附图 42: 用于插入传输电缆的固定装置

● 更改传输链路

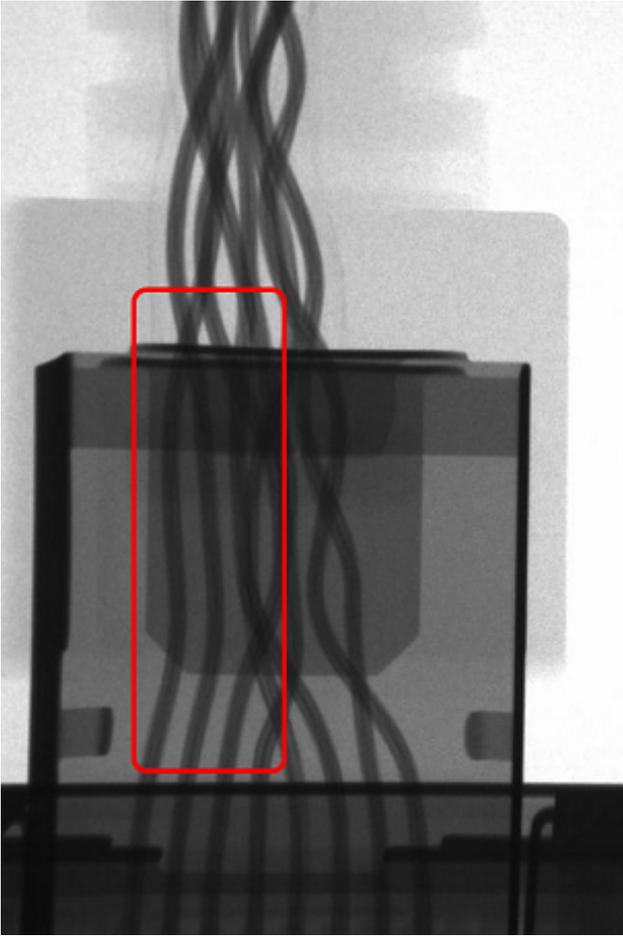
在以太网传输链路中应只按照制造商说明正确安装/连接的合适组件。在每种情况下，传输链路都应经过认证。

示例 3 - 电缆/连接器连接执行不力

在下面的示例中，芯对的解捻距离过长，违反了制造商的说明，因此极大地促进了局部串音。在测试中，高串音和/或低串音衰减“NEXT”会让人注意到这样的连接器。



附图 43: NEXT 测试的结果



附图 44: RJ45 连接器的 X 光照片

5 附录

5.1 AWG 转换

根据 ISO/IEC61918 Ed. 2.0 附录 F，下表可用于将美制 AWG 直径转换为公制格式。AWG 数值指的是相关电线在生产过程中需要拉拔的次数 - 接线越细，需要的拉拔程序就越多。

mm ²	AWG
0.05	30
0.08	28
0.14	26
0.20	24
0.28	23
0.34	22
0.38	21
0.50	20
0.75	18
1.0	17
1.5	16
2.5	14
4	12
6	10
10	8
16	6
25	4
35	2
50	1
55	1/0
70	2/0
95	3/0
120	4/0

5.2 技术支持和服务

倍福公司及其合作伙伴在世界各地提供全面的技术支持和服务，对与倍福产品和系统解决方案相关的所有问题提供快速有效的帮助。

倍福分公司和代表处

有关倍福产品本地支持和服务方面的信息，请联系倍福分公司或代表处！

世界各地倍福分公司和代表处的地址可参见以下网页：<http://www.beckhoff.com>

该网页还提供更多倍福产品组件的文档。

支持

倍福支持部门提供全面的技术援助，不仅帮助使用各种倍福产品，还提供其他广泛的服务：

- 技术支持
- 复杂自动化系统的设计、编程和调试
- 以及倍福系统组件的各种培训课程

热线电话： +49 5246 963 157
电子邮箱： support@beckhoff.com
网址： www.beckhoff.com/support

服务

倍福服务中心提供所有售后服务：

- 现场服务
- 维修服务
- 备件服务
- 热线服务

热线电话： +49 5246 963 460
电子邮箱： service@beckhoff.com
网址： www.beckhoff.com/service

德国总部

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Hülshorstweg 20
33415 Verl
Germany

电话： +49 5246 963 0
电子邮箱： info@beckhoff.com
网址： www.beckhoff.com

更多信息:

infosys.beckhoff.com/content/1033/ethernetcabling

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
Hülshorstweg 20
33415 Verl
Germany
电话号码: +49 5246 9630
info@beckhoff.com
www.beckhoff.com

