Fiber Contamination, Cleaning, and Inspection: An Introduction

概述

即使使用检测和清洁光纤端面的行业实践，接头污染仍然是数据中心、校园和其他企业或电信网络环境中造成光纤相关问题和测试失败的主要原因。

随着行业的数据速度越来越高、损耗预算越来越严格、以及新的多光纤连接器的出现，使主动检测和清洁光纤端面在保证网络运行时间、性能和设备可靠性方面变得比以往更加重要。

无论是现场端接，还是在工厂端接，即使用户认为已正确地清洁光纤，在连接到组件或设备之前，也一定要对每个连接器进行检查。本文介绍了检测和清洁光纤端面所需的工具和技术。

干净的光纤意味着绩效提升

每次安装光纤都应该进行良好的端面清洁。网络性能是由相对较弱的链接决定的，而较弱的链接就是存在光纤端面的地方 —— 这可能是在接线板上、设备端口、或跳接线末端。

无论任何光纤类型、应用或数据速率，光的传输都需要干净的链接路径，包括通过路线上的任何无源连接或接头。纤维芯上的颗粒会造成损耗和反射，导致高错误率和网络性能降级。如图 1 所示的光纤端面污染还会影响昂贵的光纤设备接口，在部分情况下甚至会使设备无法运行。

因为光纤网络是企业的重要资产（数据中心）的核心，另外还要满足客户对随时随地高速访问信息的需求，所以停机和网络性能差是不能容忍的。随着需要更多带宽和传输速度的网络应用继续从 1 和 10 Gbps (千兆/秒) 上升到 40 和 100 Gbps，损耗预算变得比以往更加严格。污垢、灰尘和其它污染物是光纤网络上这些高速数据传输速率的敌人。因此，杜绝所有光纤连接的污染成为避免出现应用性能问题的关键。

因为污染是导致出现光纤故障的主要的原因，所以从长远来看，多花一点儿时间正确地检查并（根据需要）清洁每个连接器端面是可以节省时间和金钱的。

图 *1*：如这里所示的脏光纤端面会影响网络性能或损坏设备

虽然在脏污、多灰尘的建筑环境中意外触摸光纤端面是已知的污染原因，但还有很多并不明显的其他错误的光纤处理方法。以含有体油、线头或其他异物的衣服擦拭端面会导致污染。实际上，即使是最近刚刚清洁过的端面，只要接触周围环境，都会随时受到污染。空气中的灰尘很容易落在端面上，特别是有静电的时候。

每次对接连接器端面时，污染还很容易从一个接口迁移到另一个接口上。即使是用于保护光纤端面的防尘罩也可能成为严重的污染源。遗憾的是，很多用户认为，如果端面之前有防尘罩的保护，那么一定是干净的。但是，没有人能确定防尘罩里的实际情况。即使是工厂端接的新连接器，也是一样的情况。虽然防尘盖可以有效地避免端面受损，但用于制造防尘盖的塑料会因所含增塑剂老化变质而产生残余物，且防尘盖表面可能会包含高速生产过程中使用的脱模物质。所以，如果在刚从包装袋中取出的保护盖上发现端面被污染，请不要感到惊讶。

很多人认为插入设备的端面肯定是干净的，所以拔出后即可毫无问题地重新对接。但是，这经常会导致污染物从一个端面转移到另一个端面上。即使最初的污染在纤维芯之外，对接也可能破坏污染物，导致颗粒从端面上迁移到纤维芯上。设备端口同样如此，这也是经常被忽视的污染源。

检查确认

仅清洁每个光纤端面是不够的。除非使用专用光纤检测工具（例如专业视频显微镜或手持光纤显微镜）检查，否则用户无法知晓端面是否干净。所以一般原则就是一定要检查，然后在连接时，再根据需求清洁和再次检查。

实际上，端面清洁也会造成污染。每个端面在每次清洁后都应该进行检查。

随着多光纤按入式 (MPO) 连接器成为当今数据中心光纤主干信道的规范，成为 40 和 100 千兆以太网 (GbE) 应用的必要接口，多光纤中的这个问题会尤为突出。

想象一个 12 光纤 MPO 接口，具有比单光纤连接器大得多的接口区域阵列。清洁这些较大的表面区域时，很容易将一个光纤上的污染物移至同一阵列中的其他光纤。阵列越大，这个风险就越大。对于高密度光纤互联中的 24、48 和 72 光纤 MPO，更多数量的光纤更难以控制，而且并非所有光纤突出的高度都相同。一个多光纤连接器中的光纤高度差异会增加无法正确、一致地清洁每根光纤的风险。

检测工具

检测工具主要有两种类型——光学和视频。

Tube-shaped and compact, optical microscopes *(Figure 2a)* allow direct inspection of the end-faces. 虽然这些设备因为成本低而较常使用，但它们无法提供设备内或通过隔板的端面视图。

Video inspectors consist of a small optical probe connected to a handheld display *(Figure 2b)*. 探头的大小使其非常适合检查难以接触到的地方的端口。一个大显示屏可以方便地识别端面缺陷。部分设备提供自动聚焦和自动影像定中功能，以更快、更方便地检测。这些探头也更安全，因为它们显示的是图像，而不是实际端面，所以它们可以减少人眼受到有害辐射的风险。

按标准分级和认证

在行业中，手动光纤端面检测一直以来都有一个问题，那就是清洁度的确定在很大程度上是主观性的、不一致的。一个人觉得干净，而另一个人的感觉可能会有很大差异。其他变量，例如技能水平、经验年数、视力、环境光线和使用的光纤检测工具，都会导致光纤端面清洁度确定上的不一致。随着越来越多的光纤网络被越来越多的具体人员安装和维护，可能遇到越来越多的端面清洁度方面经验不足的情况。

为了保证光纤检测的一致性，以及为了各种端面上获得更高可重复性的结果，IEC 开发了61300-3-35 英寸光纤互联设备和无源组件的基本测试和测量流程标准”。该标准通过具体的清洁度分级标准来评估光纤端面检测是否能通过认证，从而避免人为的主观因素。

图 *2a*：光学显微镜

图 *2b*：*Fluke Networks FI-500 FiberInspector™ Micro* 显示屏和探头。

图 *2c*：*Fluke Networks FI2-7300 FiberInspector Pro MPO / Single fiber inspection camera provides automated PASS/FAIL results and uses Versiv for display, user interface and recording of results.*

IEC 61300-3-35 中的认证标准与连接器类型和光纤大小、以及事件类型有关：缺陷或划痕。缺陷包括凹坑、碎片、划痕、裂缝、颗粒和嵌入及松动。划痕指永久性的线性表面特征，而缺陷包含所有可检测到的非线性特征，这些通常是可清洁的。Certification to determine pass or fail is based on the number of scratches and defects found in each measurement region of the fiber endface, including the core, cladding, adhesive layer and contact zones, as well as the quantity and size of the scratches and defects *(see Figure 3)*.

例如，如表 1 所示，使用打磨连接器的多模光纤的光纤芯中可能没有宽度超过 3 µm 的划痕，或者宽度超过 5 µm 的缺陷。在包层区，没有宽度大于 5 µm 的划痕或缺陷，5 个缺陷的宽度范围在 5 和 10 µm 之间，而宽度小于 5 µm 的缺陷数量没有限制。各个区域允许的划痕和缺陷数量和大小与连接器类型和直径有关。

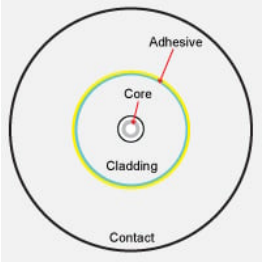

图 *3*：*IEC 61300-3-35* 根据端面各个区域中划痕和缺陷的质量和大小对光纤清洁度进行分级。

区域	**IEC 61300-3-35** 多模打磨连接器的推荐验收标准	
	划痕（给定尺寸的最大数量）	缺陷（给定尺寸的最大数量）

核心	No limit ≤ 3 µm None > 3 µm	4 ≤ 5 µm None > 5 µm
包层	No limit ≤ 5 µm None > 5 µm	No limit > 5 µm 5 from 5 µm to 10 µm None > 10 µm
粘接	没有限制	没有限制
接触	没有限制	No Limit <20 µm 5 ≤ 30 None > 30 µm

表 1. IEC 61300-3-35 多模打磨连接器的推荐验收标准

虽然可以使用 IEC 61300-3-35 ED.2 标准作为手动分级清洁度的规范，但手动流程还需要技师来判断划痕和缺陷的大小和位置，这仍会引入人为误差和不一致性，更不用说需要大量的时间。

幸运的是，Fluke Networks 的 FI-7000 FiberInspector Pro 等自动化认证解决方案可使用算法根据 IEC 标准自动并迅速检测、分级和认证单模光纤端面。FI-7300 可自动测试和监测单模光纤和 MPO 端

These types of devices eliminate human subjectivity and result in faster, more accurate and repeatable results to help ensure optimum fiber network performance faces *(figure 2c)*. 该解决方案还可以图片形式以及合格/失败结果记录光纤端面。这些结果可以与光纤损耗或光时域反射计痕迹等其他结果一起存储。

MPO 检查相机问题

与单模光纤相比，MPO 连接器的污染物收集表面区域更大。当拔下连接器和重新插入连接器时，粒子可从没有问题的位置移至存在问题的位置。

另外切记：MPO 的自动检测可能需要一定的时间 - 即使非常快的系统，其每根光纤也需要近两秒方可产生合格/失败结果 - 32光纤 MPO 大约需要一分钟。

因此，可全面查看整体 MPO 连接器的 MPO 检测相机可节省时间。The FI2-7300's Live View shows the entire connector face in about a second. 然后，您可通过简单的手势移至单独光纤视图。

大多数时候，Live View（实时视图）将告知您 MPO 可能为合格或需要清洁。然后，如果您知道其将为合格，则可记录结果，或按需清洁并再次使用 Live View（实时视图），这样可以节省等待自动检测结果失败的时间，同时还可以捕获在连接器上但不靠近任何光纤的污染物。

图 *4：FI2-7300 Live View of MPO connector shows you contamination on and adjacent to the fibers.* 您可通过简单的手势缩放单独光纤。

了解要检测和清洁什么

The best answer to the question of what to inspect and clean is everything – every endface should be inspected, and every endface that fails IEC 61300-3-35 certification should be cleaned *(see Figure 4)*. If upon inspection, the endface passes IEC certification, do not clean it. 清洁会因为静电而吸引灰尘。

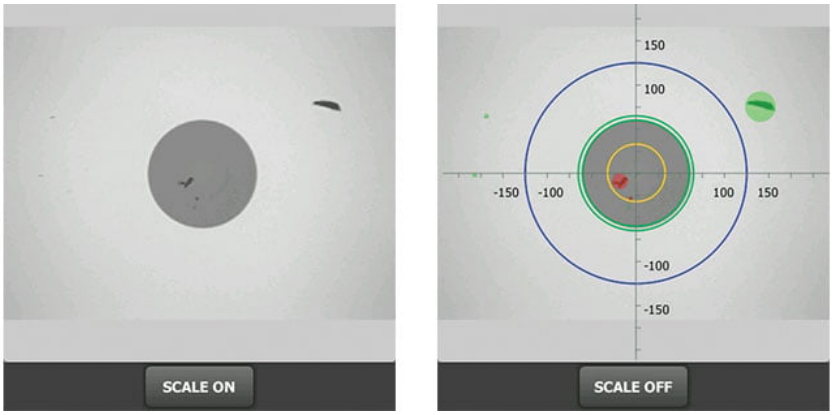

图 *5*：左侧显示的端面是清洁的还是脏的？自动认证显示，根据 *IEC 61300-3-35* 和芯中的缺陷，它是脏的。

任何端面，即使是崭新的和工厂端接的插头和尾纤，在对接之前也要进行清洁度检查。这包括光纤测试线、光纤跳接线和预端接主干线的两端。

如果使用适配器对接两个插头，则将其插入适配器之前，两侧的端面和适配器本身的套筒都要接受检查和清洁。光功率计使用的可互换适配器也要定期进行检查和清洁。通常适配器有一个带针孔的遮光罩会累积碎屑。一定要查看测试设备自带的文档，因为部分供应商要求将特定的适配器发回原厂进行清洁。

测试或故障排除任何设备（包括测试仪本身）时，对接之前要检查所有插头和端口。这包括测试设备端口、适配器、测试线端面和所有要连接测试线的端口。

如之前所述，防尘盖和对接也是一种污染源。因为，每次从防尘罩或端口中拔出或取出光纤端面后，在将其插入前都要进行检查并根据需要清洁，即使它是全新的。插入连接器之前一定要检查和清洁端口，即使它是刚刚被拔出的。

为性能而清洁

Properly cleaned end-faces *(see Figure 6)* can actually “add” up to 1.39 dB onto your loss allowance. 换句话说，如果您的光纤设备的整体损耗为 5.0 dB，指定的预算为 4.5 dB，则清洁所有脏端面可能帮助您将链路损耗降低至略超过 3.6 dB，从而获得“通过”和足够的净空值。

图 *6*：干净的光纤端面。

因此，一定要明智地选择清洁工具和方法，同时避免常见的坏习惯。每次对接连接器端面时，污染很容易从一个接口迁移到另一个接口上，所以确保端口连接保持清洁是关键。Quick Clean™ 清洁笔是干式清洁器，是清洁设备和接线板上端口的理想选择，但不适合端面可能有油脂的跳接线。Four sizes of Fluke Networks Quick Clean pens are available *(see Figure 7)*:

1. 1.25 mm，用于 LC 和 MU 连接器和端面；
2. 2.5 mm，用于 SC、ST、FC 和 E2000 连接器和端面；
3. 用于 Base-12 MPO 连接器的 MPO 12 / 24
4. 用于 Base-16 MPO 连接器的 MPO 16 / 32

图 7：*Fluke Networks Quick Clean™* 清洁笔。

如果检查显示干式清洁后未清除污染，则需要使用抹布和溶剂进行“湿式”清洁。无绒材料制成的织物或复合抹布具有清除端面污染物所需的吸收能力。通常建议避免使用坚硬表面清洁。使用抹布时，通常在清洁材料上短划一到两下（如 1cm）即足够。要施加足够的压力，使抹布贴在端面上，确保整个端面得到清洁。

使用正确的溶剂和抹布是关键。溶剂可增加一种化学反应，从而提高抹布清除端面上的颗粒和碎屑的清洁能力，同时避免干式清洁的静电问题。一定要避免使用过量的溶剂，否则会留下一层溶解的污染物膜。To remove excess solvent, wet cleaning should be followed by dry cleaning by either moving to the dry area on the wipe *(see Figure 8)* or by following up with new dry wipe. 但一定不要过度，以避免产生静电。

图 8：“湿到干”：使用 *Fluke Networks Optic* 清洁卡的清洁方法。溶液液滴放在 *"1"*，端面从 *"1"* 到 *"4"* 移过清洁材料

The solvent itself should also be specially formulated for fiber endface cleaning, such as Fluke Networks' Fiber Optic Solvent Pen. While isopropyl alcohol (IPA) was used for many years to clean fiber endfaces, specialized solvents have a lower surface tension that makes them far more effective at enveloping debris for removal and dissolving contaminants *(see Figure 9)*. 此类溶剂还有抗静电属性，使空气中的灰尘更难粘到连接器端面上。异丙醇 (IPA) 干后还会留下“晕环”，这不仅会导致衰减，还非常难以清除。清洁后不应有溶剂留在端面上。

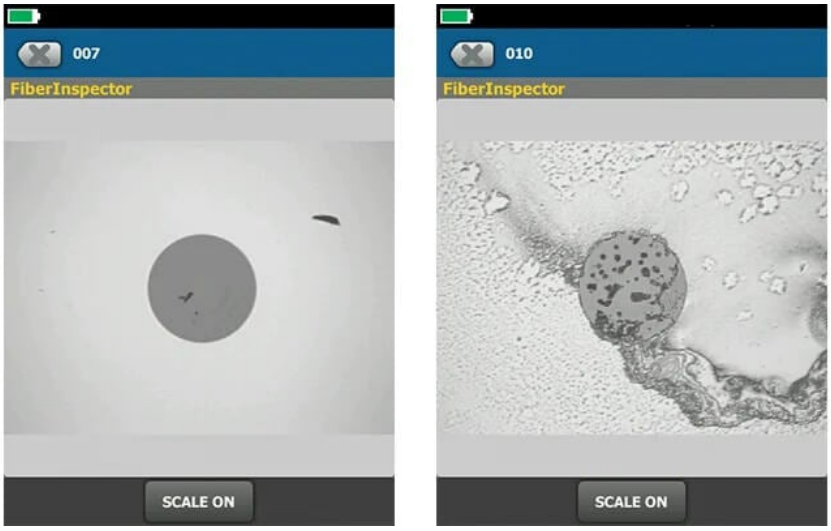

图 9：与可能有残留的 *IPA* 相比，专用溶剂（左）在清洁端面方面要有效得多。

To wet clean fiber endfaces inside ports or equipment, specially designed lint-free swabs are used instead of wipes *(see Cleaning Kits, below)*. When using swabs for port cleaning, it is important to apply just enough pressure to clean the endface while rotating the swab several times in one direction. 在端口清洁中使用溶剂时，更重要的是不要使用过量溶剂，以避免插头接口饱和。清洁端口时，清洁剂的蒸发速率关系重大，这是因为很难保证所有溶剂均能完全蒸发。连接时未蒸发的溶剂会保留在接头中，逐渐形成有害的残留物。这是清洁光纤要使用专门配制的溶剂的另一个原因，这些溶剂不但可以滞留足够的时间来发挥作用，也有比 IPA 更快的蒸发速度。也可通过拭子对 MPO 连接器进行湿式清洁。

另外一定要记住这些消耗品是一次性的，也就是说清洁端面后的抹布或棉签要立即丢弃。

重用脏抹布或棉签很容易扩散污染。虽然清洁跳线和测试参考线端面很重要，但这些组件也是消耗品，最终都会出故障，如果根据开发商指定的插入次数，这些组

件已达到使用寿命，有时候清洁也是不够的。

总结

如果网络运行时间、信号传输性能和设备可靠性对您的业务很重要，则跳过检查和清洁光纤端面可能会产生灾难性的后果。您以为您已正确地进行了清洁，并不表示您可以放弃检查。每次对接（端面和端口）之前，不仅要正确地清洁光纤，还要根据 IEC 61300-3-35 标准仔细检查和认证每个端面。

在过程中使用光纤检测和认证之后，您可避免人为主观性，根据标准快速检查、分级和认证光纤端面。这样应该可以避免因端面污染造成的网络故障。

FI2-7300 / FI-3000 FiberInspector Pro for MPO Connectors and Single Fibers

FI-3000 FiberInspector Pro 使 MPO 及单模光纤的检测更容易、更高效。多摄像头 Live View 功能提供快速、实时图像，只需通过简单的手势操作即可查看大到完整连接器、小到各个端面。根据IEC 61300-3-35，短短数秒即可自动得出“通过/失败”结果将结果保存在手机上并通过短信或电子邮件分享，也可使用业界先进的 LinkWare™ 保存完整的项目报告，包括铜缆、光纤损耗、光时域反射计和端面图像。紧凑、符合人体工程学的设计和自动对焦，让您可以舒适地测试成百上千的线缆或端口。

FI-7000 FiberInspector Pro 自动根据 IEC 标准认证光纤端面

Fluke Networks 的 FI-7000 FiberInspector Pro 只需两秒即可根据 IEC 61300-3-35 行业标准认证光纤端面，提供自动化的通过/失败结果，并避免光纤检测中的人为主观因素和猜测。

FI-7000 FiberInspector Pro 可检测和测量光纤端面上的缺陷，并根据 IEC 61300-3-35 标准自动对结果进行认证，是检测端口内或跳接线上端面的理想选择。为以图形的方式显示哪些缺陷通过或未通过标准要求，FI-7000 的手指缩放触摸屏会以彩色显示各个缺陷并突出缺陷的背景 – 未通过的缺陷显示为红色，通过的缺陷显示为绿色。

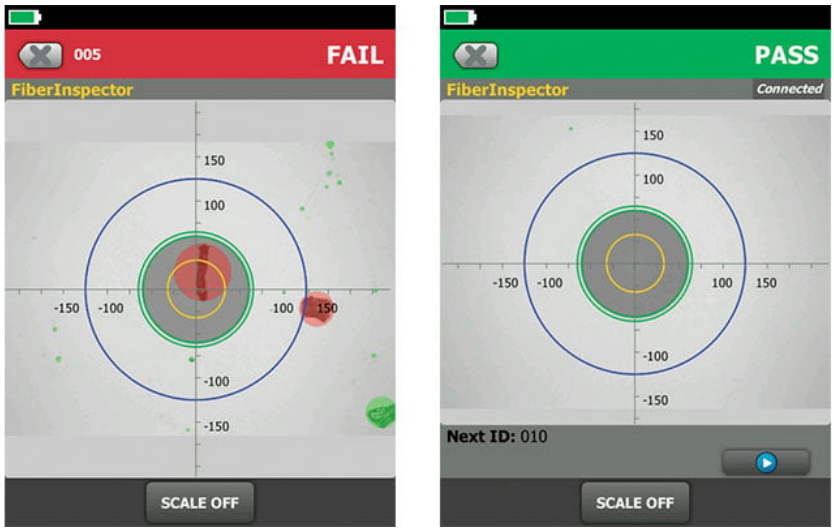

图 *9*：*FI-7000* 的认证结果让您能快速判断光纤端面是否通过。左侧显示了一个未通过的端面，右侧是一个通过的端面。

FI-7000 基于 Fluke Networks 的 Versiv 线缆认证平台而设计，可以将端面图像和认证保存在 Versiv 测试结果中，并可利用 Versiv 的诸多功能，例如使用 ProjX™ 管理工作要求，使用 Taptive™ 用户界面方便地设置，以及使用多功能 LinkWare 软件管理数据和生成专业的测试报告。FI-7000 的通过/失败光纤端面认证可供所有 Versiv 检测相机用户使用，您只需下载最新的 Versiv 固件。

FI-500 FiberInspector Mini

通过 FI-500 检查安装的所有类型光纤。便携式光纤检查工具可以生成关于微型碎片和端接面破损的清晰图像。摄像头采用了 PortBright™，在暗处可以照明且易于连接。包括手持式彩色显示器、自动对焦检查范围和 4个探针的（LC 和 SC）闪头和跳线（1.25 和 2.50mm）。

光纤清洁工具包

使用 Fluke Networks 清洁工具系列避免光纤链路故障的头号原因 - 污染。这些套件支持数据中心和校园环境中的所有光纤连接器类型。我们的 Quick Clean 清洁器提供 1.25 mm、2.5mm 和 MPO 12/24 和 16/32 尺寸，可方便地清洁光纤端面和端口。湿式清洁时，溶剂笔能够精确分配专门配制的光纤清洁溶液。套件中还包含便携清洁箱和易于使用的清洁卡，可方便地擦拭光纤端面，以及用于清洁光纤端口的棉签。

CertiFiber™ Pro 光损耗测试套件

CertiFiber® Pro 将光纤认证的成本降低三分之二，只需三秒即能够以两个波长对两根光纤进行损耗测量。

CertiFiber Pro 集成 LinkWare™ Live，可从任意智能设备通过 Wi-Fi 管理工作和测试仪。Taptive™ 用户界面提供简单的动画式引导，消除不正确的参考设定和“负损耗”错误。面向未来的设计，可轻松通过升级来支持 Cat 5 到 Cat 8 认证、OTDR 测试和双端通过/失败光纤连接器端面认证。开箱后即符合环型通量要求。分析测试结果并使用 LinkWare 计算机报告软件来创建专业的测试报告。

OptiFiber® Pro OTDR

Fluke Networks 的 OptiFiber® Pro 是业界首款专为企业光纤设施设计的全新型 OTDR。

OptiFiber Pro OTDR 的超短死区有助于识别虚拟化数据中心的光纤跳线。SmartLoop™ 技术能够根据 TIA-568.3-D 标准在几秒钟时间内完成两条光纤两个方向上的测试并得到平均测量结果 - 无需再将 OTDR 带到远端。

面向未来的设计，可轻松通过升级来支持 Cat 5 到 Cat 8 认证、单模和多模光纤损耗和光纤检测。利用集成 LinkWare™ Live，可从任意智能设备来管理工作和测试仪。

关于 Fluke Networks

Fluke Networks 为全球安装和维护关键网络布线基础设施的专业人员提供认证、诊断和安装的专业工具。从安装先进的数据中心到在恶劣的环境条件下恢复服务，我们传奇般的可靠性和无与伦比的性能都能保证以高效率完成工作。公司的旗舰型产品包括创新型 LinkWare™ Live — 基于云的电缆认证解决方案，迄今已上传超过 1400 万组结果。

1-800-283-5853 (US & Canada)
1-425-446-5500（国际）
http://www.flukenetworks.com

Descriptions, information, and viability of the information contained in this document are subject to change without notice.

Revised: 2024 年 4 月 3 日 4:33 PM
Literature ID: 7000312 C

© Fluke Networks 2018