

光纤端面质量的光检测方法

光纤连接处出现问题是网络故障的主要原因，因此光纤端面的检测至关重要。本文讨论了 3 种主要的端面检测方法。

光纤端面加工质量对光纤通信系统的整体性能影响较大，据估计，网络中半数以上的损耗是由光纤连接不理想造成的。

光纤端面检测技术可以查出两类主要的加工问题：几何问题和清洁问题。几何问题通常是在抛光或处理的过程中造成的，光纤工作时其影响不会发生变化。该问题可以通过光干涉显微镜和执行端面检测程序的专门软件探测出来，实现干涉检测过程的硬件和软件现在已经比较完善，遵循一系列业内广泛接受的标准。

“清洁”一词则被广泛用于描述光纤端面永久性损伤（例如划伤、裂痕或凹点）和临时性污染（污垢、油渍、水或清洗剂的残留）。保持连接头的清洁是光纤生产整个过程中都需要注意的问题，在装配过程中的任意环节都有可能对接头造成损害和污染。

由于缺乏相应的标准，加上主观认知差异、测试的准确性低，以及没有可重复的测试方法，想要确定可以接受的端面污染程度十分困难。然而额外的损伤可能导致数据丢失，破坏网络连接性，端面检测对于通信和数据应用非常关键。如果是高功率应用，这些损伤可能带来灾难性的后果，严重的会造成接头完全失效。

本文将介绍目前生产、研发和终端用户实现清洁检测的不同方法，讨论 3 种 2D 光检测技术能够多大程度地评估端面加工质量，比较了每种方法的优势和不足之处。这 3 种方法包括操作者通过显微镜的人工检测，操作者借助“辅助”软件操作显微镜的半人工检测，以及全自动的检测系统。

检测的内容、时间和地点

端面检测（EFI）需要应用在整个供应链系统的各个环节。光缆生产过程通常有如下几个检测点：抛光过程结束后，中间测试的过程中，以及最终测试。QA 部门需要在污点检测、新流程或产品研发、认证或常规维护过程中应用 EFI。最终用户则在 QA、常规维护和可靠性测试环节应用 EFI。

光纤接头的端面缺陷包括划伤、凹点、裂痕、松脱或固定的污染，典型地可分为划伤和颗粒污染两大类。擦伤的定义是比端面直径大得多的损伤（通常 $>30:1$ ），所有其它损伤统一定义为颗粒污染或损伤。

擦伤通常是抛光过程中形成的，但在光纤插拔等在线业务操作过程中也有可能产生。在给定的焦距下的某一画面中凭肉眼观察很难区分擦伤和裂痕，凹点则是永久的、不规则的材料损伤，通常是因为不规范的操作导致，或是在生产和接头插拔过程中产生。

接头端面的潜在永久性损坏是业内工程标准流程在光接头连接之前的清洁和检测过程需要考虑的首要问题。暂时性的污染如污垢、灰尘、油渍或其它材料污染可以通过一系列清洁流程去除，而永久性的污染（定义为无法去除的污染，除非重新抛光）包括环氧材料残余、污垢或是内嵌的颗粒杂质。

检测准则

检测准则最初由光系统厂商自己研发，最近被接受为 IPC-8497-1 国际标准。这些准则有着各自的目标，区别在于测试通过与否的指标不同。检测准则定义了一系列以光纤核心为圆心的区域，不同区域的重要性各不相同。区域的数目和具体的直径数值取决于光纤（单模或多模）和套管的类型。

最靠近纤芯的区域是最关键的，标准规定了单模光纤这一区域不能存在可见的擦痕，多模光纤也只允许极少量的小擦痕。这样的损伤已经被证明带来了更大的插入损耗，减少了反射，从而降低了光链路传输质量。IPC 标准对于其它 3 个区域的限制有所放松，即被覆层、环氧层和针对陶瓷等套管式连接单模光纤的接触层，对于这些区域损伤进行规范的原则更多地和通过接头连接时给纤芯带来的损耗多少有关，而加工质量的影响变得次要。有一个公认的结论是较大的颗粒杂质很可能导致接头匹配不当，从而使得反射损耗指标下降。

在特定的情况下，特别是高功率应用中的标准更加苛刻，从而防止热量累积带来的接头失效。此时，检查所有区域的颗粒杂质的可靠的检测机制至关重要。这些应用就需要借助相应的工业和用户自定的标准。

人工、半自动和自动检测

人工检测是目前最常用的检测手段，这也是因为传统的 PC 系统没有足够的软硬件能力，缺乏行之有效的算法来准确地检测和区分细小的瑕疵，尤其是很浅的划痕。许多人认为人工检测依然是目前大多数应用性价比最高的可行方案，检测过程简便快捷，尽管需要耗费一定的人力，检测结果主观性很强，检测人员需要接受较高级别的培训才能获得可重复的检测结果。

人工检测需要用到一架视频光纤显微镜、一套接头固定装置和一台视频监控器。显微镜将光纤端面的图像放大并显示到监控器上，其典型的测试环境如照片 1 所示。



照片 1：人工光纤检测。

一旦接头被人工安装好，检测人员就按照以下几个步骤执行检测过程：1. 调整焦距；2. 识别损伤；3. 确定每一区域损伤的大小和数量；4. 判断检测通过与否。

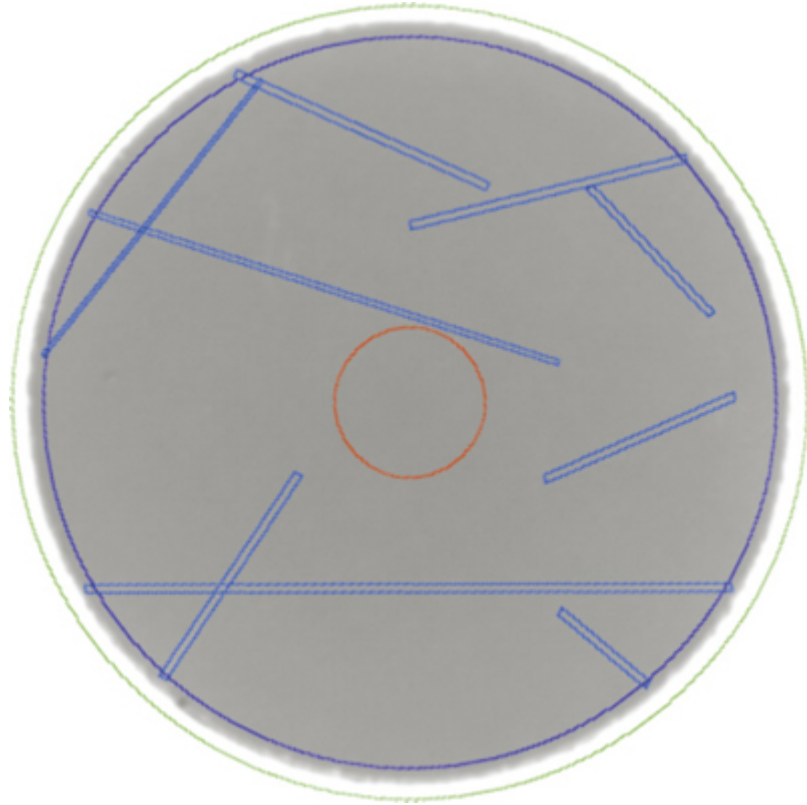
在现场或管线环境中将采用探测式的显微镜，而非上述台式显微镜。

尽管有聚酯薄膜的帮助，不断重复地判断每个瑕疵的尺寸和位置对于操作人员来说是非常困难的。检测效果与焦距（由操作者主观设定）、显微镜的分辨率以及用于显示的视频监视器的对比度有关。上述因素加上缺乏详尽的检测记录通常导致供应链各个环节的不同检测者之间的低效率重复劳动。有研究表明重复劳动的比例占到了约 60%。

近 10 年中，一些半自动或称为“软件辅助”的测试手段逐渐成熟商用。半自动测试所用的显微镜与人工测试一样，不同之处在于借助了计算机图像处理软件来对光纤端面进行分析。与基于模拟照相机的设备相比，数字相机多数配置 USB 或 FireWire 接口，省去了帧捕捉器的成本。

与人工检测类似，半自动方法同样需要操作者将接头插入固定测试平台中，定位待测光纤（采用 MPO 这样的多纤接头）并调整显微镜焦距。一旦得到了满意的图像，操作者即启动软件捕获图像并进行分析。EFI 软件收集端面图像，执行检查、分类、测量和判断损伤位置的操作，并与软件预设的标准指标进行比较，从而定量地确定区域信息，判断该接头合格与否。

半自动方法的检测效果与软件的能力、显微镜性能以及操作人员对焦和定位图像的技能有关，已经证明了其准确性、可重复性和再现性等方面优于人工检测。该方案可以提供检测结果的具体记录，包括端面图像和损伤检测数据等。照片 2 展示了一个检测到划痕的光纤端面。



照片 2：有缺陷的端面图像显示出了检测到的擦痕。

完全自动的检测系统采用了和半自动检测一样的流程。该类系统采用计算机控制检测动作，某些情况下还借助多分辨率相机快速定位、聚焦和收集多个接头上的多个光纤端面的图像，测试装置是配置好的，无需操作者的干预（见照片 3）。



照片 3：清洁室中的自动光纤检测系统。

该系统消除了人工对焦和定位光纤的不确定性，而且，由于软件、显微镜、照明装置和运动控制等设备都可由生产厂家控制，整个系统的性能是可以检验的。检测的可重复性很高，

重复检测的结果较为一致，总的损伤检测一致性超过了 99%，边缘损伤检测一致性也超过了 95%。一些自动检测系统的用户也反应多个测试系统对于数百万光纤的“6 Σ ”样本尺寸的检测结果具有一致性。

与人工和半自动检测相比，全自动检测具有重要的优势。对焦、对照和光线校准过程借助主用光纤和 NIST 可跟踪校准流程而实现完全的自动化。自动方法提高了检测的准确性，降低了测试成本，增强了测试能力，操作人员的培训量降低，获得的数据量增加，降低了对供应链的限制。同时，自动检测系统中的固定检测装置可以自动检查检测区域的光纤、光缆或产品的类型，测试者仅需把待测产品安装和拆下即可。系统中可以安装需要测试数小时的设备，测试者仅需花上几分钟安装、拆卸待测产品以及打开收集数据并根据序号找到特定数据即可。自动检测中操作者需要参与的部分大大减少，从而更大地降低了人力成本。

自动检测系统能够执行 2D 几何测量、MT 套管定位检测、光一致性检测以及潜在的集成清洁能力。基于计算机的测试使得更加简单的端面质量评估方法的引入成为可能，例如国际电子生产商联盟（iNEMI）光器件清洁技术工作组已经论证了接头插入损耗与 GWpOA（Gaussian Weighted percent Occluded Area）密切相关。当使用计算机辅助检测方法时，这一结论也许能够极大地简化确定光接头清洁程度的参数。

光纤的应用越来越广泛，飞速增长的使用量使得自动检测愈发地吸引人。由于光纤应用的质量要求越来越高，自动检测由于提高了检测的可重复性和准确性，将会成为更受欢迎的方案。