

光纤分路器可靠度试验失效模式分析(FMEA)

摘要：本文主要介绍光纤分路器的 GR-1209 可靠度试验，及其失效模式分析 (FMEA: Failure Mode and Effect Analysis)

关键词：分路器、可靠度试验、FMEA

Abstract: This paper discusses the reliability test of couplers according to GR-1209, and the corresponding Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).

Keyword: Coupler, Reliability Test, FMEA

光纤耦合技术自 1985 年起，即为许多专家所开始使用，其目的是使输入光从一根光纤传输到另外二根光纤，达到光强度分配的作用，是光无源器件中相当重要的组件。其制做原理是根据 Maxwell 方程，推导出光在柱状体中传播时，波长与强度的 Bessel 函数关系而来的。在生产上主要是利用熔融拉锥工艺(Fused Biconical Taper: FBT),用专门的设备将两根光纤在氢氧气或丙烷气的高温下烧熔，再按照产品所需的工作波长、带宽、分光比等光学特性，按所设定的参数将其向外拉，即完成所需光学特性的光分路器烧结过程。完成烧结过程后的光纤，需再经过封装过程才算完成成品。其过程是将光纤丝先在基板(substrate)上固定，以保持烧结后光纤丝的光学特性，再将光纤及基板装入外包装材料，以保护光纤丝及基板，并能满足商业使用方便性的要求。该封装过程中除需考虑使用方便外，更需考虑产品在不同环境及使用状况下应符合可靠度的要求。

在商业应用中，光无源器件的小型化已是潮流趋势。在商业及产品推广时，很难采用复杂的防护机构来提高光纤分路器的可靠度，因此在设计阶段即应将可靠度的要求考虑进去(design-in)，确保产品能符合甚至高于可靠度试验的要求，并进行失效模式分析(FMEA)。建立量产时，有效的管制及检查方法，对异常情况进行持续分析及改善，必要时配合适当的环境应力进行筛选，才能提高光无源器件的可靠度。

分路器可靠度试验

在考虑分路器各种使用环境以及应力情况下，Telcordia(原为 Bellcore)订出 Generic Requirement for Fiber Optical Branching Components，GR-1209。其中的可靠度试验项目包适环境试验及机械试验两大类，试验项目及条件如表一。

No	Test Item	Test Condition/Duration
1	Temp-Humidity Aging	85°C/85%RH, 14 days
2	Temp-Humidity Cycling	-40°C~+75°C, 14 days
3	Water Immersion	43°C, pH 5.5, 7 days

4	Vibration	10~55~10Hz, 1.52mm, 3axis
5	Flex	100cycle, 180°, load 1pd. for ≥2.0mm cable
6	Twist	10cycle, load 1pd. for ≥2.0mm cable
7	Side Pull	0.23kg, 90°
8	Cable Retention	0.45kg, 1min.
9	Impact	Height 1.8m, 8drop/axis, 3axis, or 1000g, 0.5ms in shock test

分路器可靠度试验之失效模式分析(Failure Mode & Effect Analysis: FMEA)

在上述 GR-1209 中所规定的可靠度试验可概括为环境试验及机械试验两大类。为满足试验要求，对分路器的材料及零部件的选择以及失效的原因分析概述如下。

环境试验(Environment Testing): 在使用光分路器的环境中，不可避免会因环境温湿度变化而造成光纤热胀冷缩，进而对光学特性尤其是插入损耗(Insertion Loss)及极化相关损耗(PDL, Polarization Dependent Loss)产生影响。因此封装过程所选用的基板以及用来固定光纤丝和基板所用的胶，必需考虑到能与光纤丝的热膨胀系数相当，以免光学特性受环境变化而有急剧的变化。另外由于胶的特性易受空气中水气的影响，因此在光分路器的封装设计上需再使用封止剂胶，以防止外界水气影响基板上胶的特性、进而对光学特性产生负面影响。在环境试验中，如 Temp-Humidity Aging、Temp-Humidity Cycling 等可靠度试验的主要目的是验证光分路器基板、固定光纤用的胶、以及封装上用的胶，在设计上及材料选用上，能否在规定时间及条件下，保证光分路器的光学特性仍能符合要求。

针对 GR-1209 中的环境试验，我们实际进行了各种试验，针对试验失败时的主要原因分析以及在设计上改善的考虑如下：

Temp-Humidity Aging 试验：

1. 封止剂胶对光纤钢管的粘着力及耐高温高湿的特性。
2. 温度及湿度对封止剂胶的影响。
3. 防止湿气渗透的密封结构的设计。
4. 基板两端固定光纤的胶对光纤基板的粘着力及耐高温高湿的特性。

Temp-Humidity Cycling 试验：

1. 不同材料热膨胀系数的匹配。
2. 基板两端固定光纤的胶的粘着力相对温度改变的稳定性及 Tg 值等

因子。

3. 光纤与基板间胶固定的位置
4. 包装结构的设计及对温度变化的反应

Water Immersion 试验：

1. 封止剂胶对光纤、钢管的粘着力及防水性
2. 防止水渗透的密封结构。
3. 封止剂胶对水气的吸收

机械试验(Mechanical Testing)： 在一般使用状况下，光学产品可能会因为掉落到地面、运输过程中的振动、光纤受拉扯、弯曲、扭转等因素而导致光学特性受影响，甚至于完全损坏。因此光纤固定方法、基板的强度、基板固定方式以及分路器封装等因素，在设计及材料选用上都必需针对 GR-1209 中机械试验的条件加以考虑，以保证能通过该试验。

针对 GR-1209 中机械性试验，我们也对各试验失败时主要的原因分析以及在设计上的主要考虑点如下：

Vibration

1. 基板两端固定光纤的胶的粘着力。
2. 光纤与基板间胶的固定位置
3. 包装结构的设计对震动的考虑。
4. 材料的选择及尺寸的考虑。

Flex/Twist/Side Pull

1. 基板两端固定光纤的胶的粘着力。
2. 封止剂胶对光纤、钢管的粘着力与吸收应力的性能。
3. 密封结构对吸收应力的设计。

Cable Retention

1. 基板两端固定光纤的胶的抗拉力。
2. 封止剂胶对光纤、钢管的粘着力与吸收应力的性能。
3. 包装结构对抗张力的设计。

Impact

1. 基板两端固定光纤的胶的粘着力。

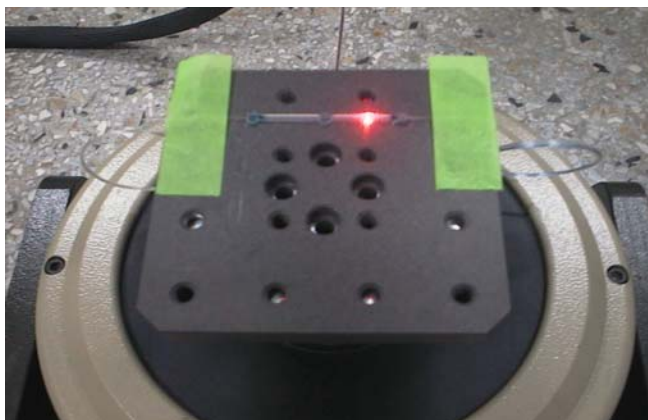
2. 光纤与基板间胶的固定位置。
3. 包装结构对冲击力的吸收。
4. 封止剂胶对冲击力的吸收。
5. 基板本身的强度。

失效模式分析(FMEA)所衍生的整改措施

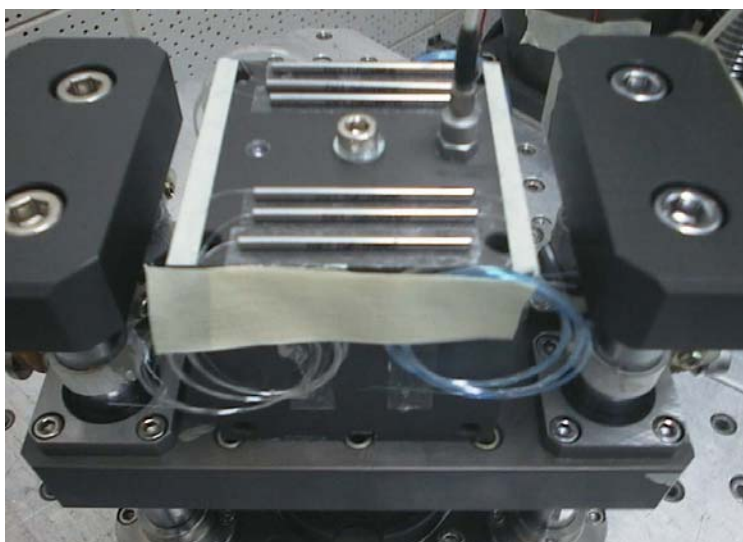
在进行失效模式分析(FMEA)过程中，除了强化设计提高产品可靠性、控制制程差异以降低不合格率外，还检讨各种失败情况的原因的发生机率、严重性以及可检性，除在进料检验、过程中检验及出货检验时设置有效管制点及管制方法外，还增加了环境应力筛选(Environmental Stress Screening: ESS)的过程，将光学特性检验为合格但可靠性上有缺陷的产品在出货前进行有效筛选，防止流出到客户手上而造成客户的不便及损失。目前我们判定以温湿度循环以及落下试验作为环境应力筛选过程，将有效地提高可靠度。

以实际生产的光分路器为例，在产品出厂前均需经过温湿度循环试验，以释放光纤的热应力,并作为出厂的第一道筛选程序。

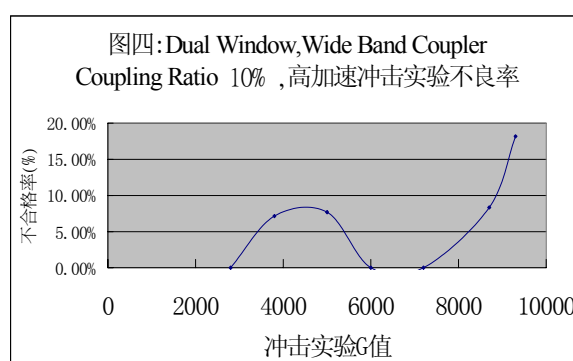
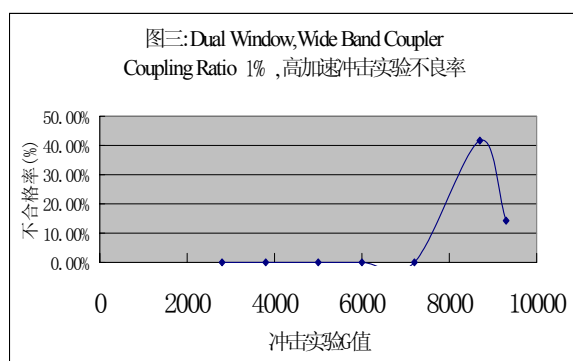
在筛选因材质潜在缺陷而造成可靠度不良的光分路器,则需对造成落下试验失效的因素加以分析,以建立光分路器第二道筛选过程。在实例中,先对基板进行频率响应分析(Frequency Response)如下图,并建立基板的进料检验程序,及改善光分路器购装程序,确保光分路器能在设计上以冲击试验(Shock Testing)验证其耐冲击能力达到 3000G 以上，部份产品甚至可达到 8000G! (测试资料如图)。在大批量生产时所进行的检验及筛选时，则可采用比较合乎时效及成本考虑的落下试验(Drop Testing)。落下试验所用的工具经由检测机构计量测定在不同高度落下时的加速度值(G)，再依产品特性及 GR-1209 要求定出有效的筛选方式。经过该环境应力筛选后的产品，可靠度将可大幅提升。



图一:基板以雷射杜卜勒分析仪进行频率响应分析



图二:以高加速冲击试验机进行光分路器冲击试验



结语

藉由光分路器的生产上已具备多年产品分析及质量提升的经验，通过 FMEA 的组织运作，已将产品设计强化并设立有效管制点及管制方式，也设定了 ESS 过程以提升光学产品的可靠度。目前光无源器件市场普遍不景气，市场上充斥着价格低廉的无源器件，客户往往会被其吸引。但是在考虑到产品可靠度和价格的「性价比」时，如果使用可靠度不好的产品，在初期或许会因采购价格低廉而降低成本，但是在往后的维护成本上将巨幅增加。品质不断提升以满足客户更高的需求，是所有器件生产厂家不变的宗旨，制造厂家唯有本着这一宗旨持续精进，提供给客户价格合理、质量高、可靠性佳的分路器及其它光无源器件，才能成为客户最信赖的事业伙伴，在市场上占有一席之地。

本文作者: 徐铭隆

学历: 台湾大学机械研究所
台湾清华大学动 机械系

经历: 车辆 课长
台湾上詮光纤通信股份有限公司 品保课长

现职: 上海上途光纤通信设备有限公司 品保经理