

T/GDEIIA

团 体 标 准

T/GDEIIA xx—XXXX

可插拔光收发合一模块可靠性评价方法

Reliability evaluation methods for pluggable transceiver module

征求意见稿

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

广东省电子信息行业协会 发布

目 次

前 言	3
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 可靠性指标	2
5 光模块性能指标	2
6 分布假设	3
7 抽样	3
7.1 抽样原则	3
7.2 抽样数量	3
8 失效判据	3
9 可靠性试验方法	3
10 获取试验数据	4
11 数据有效性判定	5
12 可靠性评价指标计算	5
12.1 点估计	5
12.2 区间估计	5
附录 A（规范性附录） 定时截尾试验过程记录表	7
附录 B（资料性附录） χ^2 分布数值表	8

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省电子信息行业协会提出。

本文件由广东省电子信息行业协会归口。

本文件起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、苏州旭创科技有限公司、中国科学院半导体研究所、中国移动通信集团广东有限公司广州分公司、是德科技（中国）有限公司、武汉普赛斯电子股份有限公司、广东世炬网络科技有限公司、南方电网大数据服务有限公司、宁波芯速联光电科技有限公司。

本文件主要起草人：徐鹏飞、陈钊、洪林雄、王国奇、李世拯、李力、李小兵、王祥忠、杜定松、何子安、文花顺、祝宁华、翟鲲鹏、张亮、郝秋林、欧阳鹏辉、彭瑶、付军、马超、徐智号、乐攀、邓勇志、吴正祎、李智宁、刘赛足、徐位墅、肖潇、金卫。

本文件为首次发布。

可插拔光收发合一模块可靠性评价方法

1 范围

本标准规定了可插拔光收发合一模块术语、定义、可靠性评价的一般要求、可靠性试验程序和可靠性评价方法。

本文件适用于强度调制和相位调制可插拔光收发合一模块的可靠性试验和评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2689.1-1981 寿命试验和加速寿命试验的图估计法（用于威布尔分布）
- GB/T 2828 计数抽样检验程序
- GB/T 4086.2-1983 统计分布数值表 分布表
- GB/T 5080.1-2012 可靠性试验 第1部分：试验条件和统计检验原理
- GB/T 5080.4-1985 设备可靠性试验 可靠性测定实验的点估计和区间估计方法（指数分布）
- GB/T 5080.6-1996 设备可靠性试验 恒定失效率假设的有效性检验
- YD/T 1766-2016 光通信用光收发合一模块的可靠性试验失效判据
- YD/T 2798.1-2015 用于光通信的光收发合一模块测试方法第1部分：单波长型
- YD/T 2798.2-2020 用于光通信的光收发合一模块测试方法第2部分：多波长型
- YD/T 3539.1-2019 400Gbit/s 相位调制光收发合一模块 第1部分：2×200Gbit/s
- Telcordia GR-468-CORE（2004） 用于通信设备中的光电子期间的一般可靠性保证要求

3 术语和定义

YD/T 2798.1-2015、YD/T 2804.1-2015、YD/T 2798.2-2020、YD/T 3538.4-2023、YD/T 3539.1-2019、YD/T 2618.1-2013界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 失效率 failure rate

产品工作到 t 时刻后的单位时间内发生失效的概率。

3.2 定时截尾试验方案 fixed time terminated test plan

从试验开始到规定试验截止时间（或动作次数）就停止的寿命试验方案。

3.3 点估计 point estimation

由子样的多个数据确定一个统计量，用它来估计总体的未知参数。

3.4 区间估计 interval estimation

从点估计值出发，按给定的概率值建立包含待估计参数的区间。

3.5 置信度 confidence level

随机的置信区间包含参数真值的概率。

3.6 平均失效前时间 mean time to failure, MTTF

产品失效前时间的期望。

3.7 失效判据 failure criterion

预先定义的接受确证失效的条件。

4 可靠性指标

除非另有规定，可插拔光收发合一模块的可靠性指标可从以下指标中任选其一及以上。

——平均失效前时间

——失效率

5 光模块性能指标

5.1 平均发送光功率

在发射侧参考点所测得的光模块发射端耦合进光纤的伪随机序列光信号的平均功率。

5.2 光接收灵敏度

在不同调制速率下，满足比特差错率为一定值时，光模块接收部分所能接收到的最小平均光功率。

5.3 过载光功率

在不同调制速率下，满足比特差错率为一定值时，光模块接收部分所能接收到的最大平均光功率。

5.4 光信噪比容限

接收光功率在最佳接收范围内，比特容差率达到规定值时接收端可以容忍的最小光信噪比。

5.5 外眼光调制幅度

平均发射光功率 P_3 与平均发射光功率 P_0 的比值。

5.6 光发送转换时间

外眼光调制幅度上升时间 T_r 和下降时间 T_f 中的较大值。

其中：

T_r ——外眼光调制幅度从20%上升到80%的时间，单位为ps；

T_f ——外眼光调制幅度从80%下降到20%的时间，单位为ps；

5.7 边模抑制比

对于单纵模激光器，主纵模峰值光功率 P_x 与最大次纵模峰值光功率 P_s 之比。

5.8 消光比

平均发射光功率 P_3 与平均发射光功率 P_0 的比值。

5.9 四电平脉冲幅度调制信号发送色散眼闭合度

发射机通过最长光通道传输后的垂直眼图闭合程度。

5.10 相对强度噪声光调制幅度

在规定的反射情况下，相对于光调制幅度的相对强度噪声。

5.11 外眼光调制幅度接受灵敏度

在规定的调制速率下，满足规定的比特差错率时，光模块所能接受的最小平均光功率对应的光调制幅度。

6 分布假设

评定可插拔光收发合一模块的平均失效前时间和失效率时，假设失效时间的分布服从指数分布。

7 抽样

7.1 抽样原则

可插拔光收发合一模块可靠性试验的抽样原则如下：

- 1) 应从合格批次的可插拔光收发合一模块产品中进行抽样；
- 2) 推荐采用随机抽样的方式，或按GB/T 2828要求进行抽样。

7.2 抽样数量

抽样数量应大于等于20。

8 失效判据

当可插拔光收发合一模块处于工作状态时，当出现以下任意一项时判定为失效：

- 1) 可插拔光收发合一模块的光接口或电接口性能指标超出相关标准协议规范；
- 2) 可插拔光收发合一模块无法正常工作，或者表面出现明显损伤；
- 3) 模块制造商或设备制造商制定的可插拔光收发合一模块其他失效判据。

9 可靠性试验方法

9.1 可靠性试验应力选择

对可插拔光收发合一模块起主要影响的应力参数主要包括：机械应力（表1）和环境应力（表2）

表 1 机械应力参数

参数	参数来源	指标内容
冲击应力	技术说明、相关标准要求	冲击加速度、冲击方向、冲击次数
振动应力	技术说明、相关标准要求	振动加速度、振动频率、振动方向
插拔应力	技术说明、相关标准要求	插拔次数

表 2 环境应力参数

参数	参数来源	指标内容
温度	技术说明、相关标准要求	温度范围
湿度	技术说明、相关标准要求	湿度范围
温度变化率	技术说明、相关标准要求	范围、变化率

根据可插拔光收发合一模块的实际应用场景，可考虑增加静电放电和电磁兼容等试验。

针对在液冷环境下工作的可插拔光收发合一模块，上述试验需要在对应冷却介质环境下开展。

9.2 可靠性试验剖面制定

对于单任务的可插拔光收发合一模块，根据光收发合一模块的任务剖面中所经历的环境时序，制定可插拔光收发合一模块的应力剖面；

对于多任务的可插拔光收发合一模块，首先分别对每个任务绘制环境应力剖面，然后根据每个任务出现的频率，对相应任务的应力剖面的持续时间进行加权，最后得到可插拔光收发合一模块的多任务综合应力剖面，具体如图1所示。

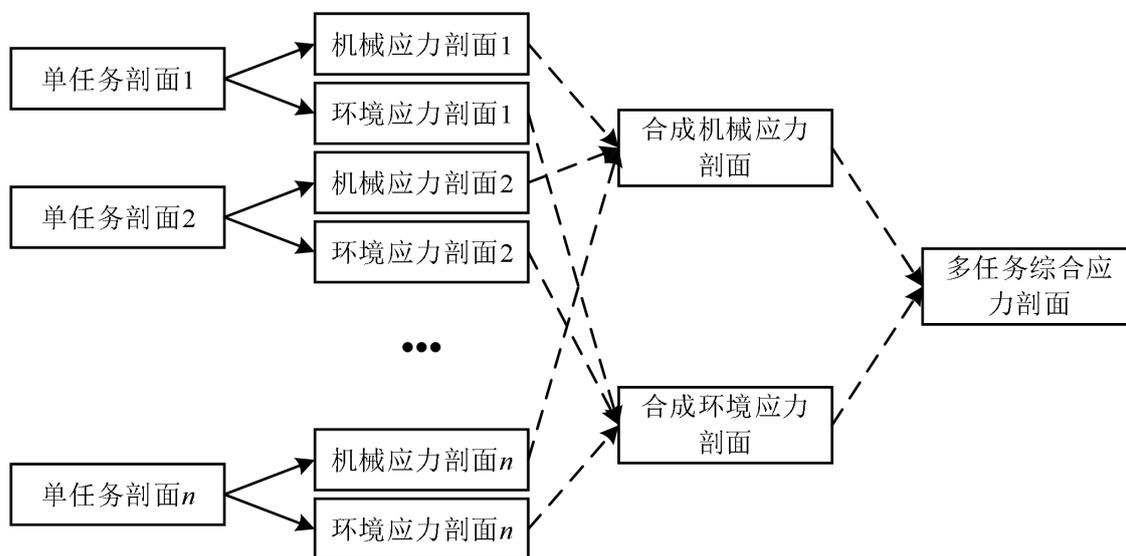


图 1 多任务综合应力剖面构造方法

10 获取试验数据

通过定时截尾试验将抽样的可插拔光收发合一模块产品在给定的试验环境下，工作到规定时间。定时截尾试验的截止时间需要综合考虑试验成本、试验周期、数据收集的可靠性等因素进行确定。产品参数的测试方法及要求需符合可插拔光收发合一模块产品测试标准规定。

用定时方法测试时，若某测试间隔 (t_{k-1}, t_k) 中测得的失效数为 r_k ，则该测试间隔内的第 j 个产品的失效时间 t_j 计算如下：

$$t_j = t_{k-1} + j \frac{t_k - t_{k-1}}{r_k + 1}, j = 1, 2, \dots, r_k \quad (1)$$

式中， t_{k-1} 和 t_k 为相邻的两个测试时刻。

在给定试验截尾时间 τ 下，对所有产品的失效时间按照从小到大排序为

$$t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_r \leq \tau \quad (2)$$

式中：

r ——可靠性试验中发生失效的样品总数，单位/个；

t_i ——第 i 个样品失效的时间，单位/h。

在可插拔光收发合一模块可靠性试验过程中，由非产品自身原因（如设备原因、人为原因、意外事故等）造成的产品失效不计入失效数内。

11 数据有效性判定

在失效时间分布服从指数分布假设前提下，参照GB/T 5080.6-1996要求对试验数据作统计有效性检验。

12 可靠性评价指标计算

12.1 点估计

在定时截尾试验条件下，可插拔光收发合一模块平均失效前时间MTTF点估计见公式（3）

$$\text{MTTF} = \frac{T_{r,n}}{r} = \frac{\sum_{i=1}^r t_i + (n-r)\tau}{r} \quad (3)$$

式中，

n ——试验样品的总数，单位/个；

$T_{r,n}$ ——到给定截止时间后所累计的试验时间，单位/h；

r ——可靠性试验中发生失效的样品总数，单位/个；

t_i ——第 i 个样品失效的时间，单位/h；

τ ——试验截尾时间，单位/h。

可插拔光收发合一模块在定时截尾试验条件下，失效率 λ 点估计见公式（4）

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTTF}} = \frac{r}{T_{r,n}} = \frac{r}{\sum_{i=1}^r t_i + (n-r)\tau} \quad (4)$$

12.2 区间估计

在定时截尾试验条件下，可插拔光收发合一模块平均失效前时间MTTF的区间估计见公式（5）

$$\text{MTTF}_L = \frac{2T_{r,n}}{\chi_\alpha^2(2r+2)} = \frac{2\left(\sum_{i=1}^r t_i + (n-r)\tau\right)}{\chi_\alpha^2(2r+2)} \quad (5)$$

式中：

MTTF_L ——平均失效前时间MTTF的单侧置信下限值；

$\chi_\alpha^2(2r+2)$ ——置信度为 α 、自由度为 $(2r+2)$ 的 χ^2 分布函数值，可通过附录B查询得到。

在定时截尾试验条件下，可插拔光收发合一模块失效率 λ 的区间估计见公式（6）

$$\lambda_U = \frac{\chi_\alpha^2(2r+2)}{2T_{r,n}} = \frac{\chi_\alpha^2(2r+2)}{2\left(\sum_{i=1}^r t_i + (n-r)\tau\right)} \quad (6)$$

式中：

λ_U ——失效率 λ 的单侧置信上限值。

附录 B
(资料性附录)

χ^2 分布数值表

置信度为 p ，自由度为 ν 的 χ^2 分布图形见图B.1，分位数见表B.1。

$$\chi^2_{\alpha}(\nu): \int_0^{\chi^2} \frac{1}{2\Gamma(\nu/2)} (\chi^2/2)^{\nu/2-1} e^{-\chi^2/2} d\chi^2 = p$$

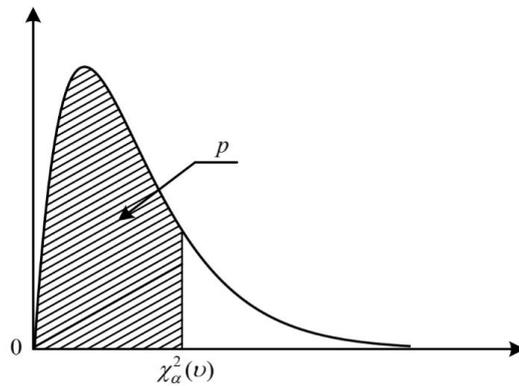


图 B.1 置信度为 p ，自由度为 ν 的 χ^2 分布图形

表 B.1 χ^2 分布分位数表

ν	p							
	0.60000	0.65000	0.70000	0.75000	0.80000	0.85000	0.90000	0.95000
1	0.70833	0.87346	1.07419	1.32330	1.64237	2.07225	2.70554	3.84146
2	1.83258	2.09964	2.40795	2.77259	3.21888	3.79424	4.60517	5.99146
3	2.94617	3.28311	3.66487	4.10834	4.64163	5.31705	6.25139	7.81473
4	4.04463	4.43769	4.87843	5.38527	5.98862	6.74488	7.77944	9.48773
5	5.13187	5.57307	6.06443	6.62568	7.28928	8.11520	9.23636	11.07050
6	6.21076	6.69476	7.23114	7.84080	8.55806	9.44610	10.64464	12.59159
7	7.28321	7.80612	8.38343	9.03715	9.80325	10.74790	12.01704	14.06714
8	8.35053	8.90936	9.52446	10.21885	11.03009	12.02707	13.36157	15.50731
9	9.41364	10.00600	10.65637	11.38875	12.24215	13.28804	14.68366	16.91898
10	10.47324	11.09714	11.78072	12.54886	13.44196	14.53394	15.98718	18.30704
11	11.52983	12.18363	12.89867	13.70069	14.63142	15.76710	17.27501	19.67514

ν	p							
	0.60000	0.65000	0.70000	0.75000	0.80000	0.85000	0.90000	0.95000
12	12.58384	13.26610	14.01110	14.84540	15.81199	16.98931	18.54935	21.02607
13	13.63557	14.34506	15.11872	15.98391	16.98480	18.20198	19.81193	22.36203
14	14.68529	15.42092	16.22210	17.11693	18.15077	19.40624	21.06414	23.68479
15	15.73322	16.49401	17.32169	18.24509	19.31066	20.60301	22.30713	24.99579
16	16.77954	17.56463	18.41789	19.36886	20.46508	21.79306	23.54183	26.29623
17	17.82439	18.63299	19.51102	20.48868	21.61456	22.97703	24.76904	27.58711
18	18.86790	19.69931	20.60135	21.60489	22.75955	24.15547	25.98942	28.86930
19	19.91020	20.76376	21.68913	22.71781	23.90042	25.32885	27.20357	30.14353
20	20.95137	21.82648	22.77455	23.82769	25.03751	26.49758	28.41198	31.41043
21	21.99150	22.88761	23.85779	24.93478	26.17110	27.66201	29.61509	32.67057
22	23.03066	23.94726	24.93902	26.03927	27.30145	28.82245	30.81328	33.92444
23	24.06892	25.00554	26.01837	27.14134	28.42879	29.97919	32.00690	35.17246
24	25.10635	26.06252	27.09596	28.24115	29.55332	31.13246	33.19624	36.41503
25	26.14298	27.11831	28.17192	29.33885	30.67520	32.28249	34.38159	37.65248
26	27.17888	28.17296	29.24633	30.43457	31.79461	33.42947	35.56317	38.88514
27	28.21408	29.22655	30.31929	31.52841	32.91169	34.57358	36.74122	40.11327
28	29.24862	30.27914	31.39088	32.62049	34.02657	35.71499	37.91592	41.33714
29	30.28254	31.33077	32.46117	33.71091	35.13936	36.85383	39.08747	42.55697
30	31.31586	32.38150	33.53023	34.79974	36.25019	37.99025	40.25602	43.77297

注：本表对于自由度 ν 和置信度 p 给出 χ^2 分布的分位数 $\chi_p^2(\nu)$ 。对于自由度和置信度超出本表范围的，

可参照 GB/T 4086.2-1983 查询。例：对于 $\nu=6$ 和 $p=0.8$ ， $\chi_p^2(\nu)=8.55806$ 。