

ICS 33.180.10
M 33



中华人民共和国国家标准

GB/T 15972.3—1998
eqv IEC 793-1-3:1995

光纤总规范 第3部分：机械性能试验方法

Generic specification for optical fibres
Part 3: Measuring methods for mechanical
characteristics

1998-12-21 发布

1999-07-01 实施

国家质量技术监督局 发布

目 次

前言	I
IEC 前言	II
1 范围	1
2 引用标准	1
3 机械性能试验项目	1
4 工作定义	2
5 物理缺陷	2
6 方法 GB/T 15972-B1——光纤筛选试验	2
7 方法 GB/T 15972-B2A——短长度光纤的抗张强度	5
8 方法 GB/T 15972-B2B——大长度光纤的抗张强度	6
9 方法 GB/T 15972-B4——磨损	6
10 方法 GB/T 15972-B5——目视检验	6
11 方法 GB/T 15972-B6——可剥性	6
12 应力腐蚀敏感性参数的测定——概述	9
13 方法 GB/T 15972-B7A——用轴向张力法测量光纤动态疲劳参数	9
14 方法 GB/T 15972-B7B——用两点弯曲法测量光纤动态疲劳参数	14
15 方法 GB/T 15972-B7C——用轴向张力法测量光纤静态疲劳参数	18
16 方法 GB/T 15972-B7D——用两点弯曲法测量光纤静态疲劳参数	20
17 方法 GB/T 15972-B7E——用均匀弯曲法测量光纤静态疲劳参数	21
18 方法 GB/T 15972-B8A——用侧视显微技术测量光纤的翘曲	23
19 方法 GB/T 15972-B8B——用激光束散射法测量光纤的翘曲	26
附录 A(标准的附录) 断裂应力试验的统计计算	28
附录 B(提示的附录) 应力腐蚀敏感性参数试验方法的应用指南	30
附录 C(提示的附录) 光纤翘曲圆模型的推导	33
附录 D(提示的附录) 式(24)的推导	33

前 言

本标准是等效采用国际电工委员会标准 IEC 793-1-3:1995《光纤 第1部分:总规范 第3篇:机械性能试验方法》和修改单 1(1996)对 GB/T 8403—1987《光纤机械性能试验方法》和 GB/T 15972—1995《光纤总规范》中的 5.4 进行修订的。

这样,使我国光纤国家标准与国际标准相一致,以适应在此领域的国际技术交流和贸易往来迅速发展的需要。

本标准与 GB/T 8403—1987 和 GB/T 15972—1995 相比,增加了可剥性、应力腐蚀敏感性参数及光纤的翘曲等试验方法。

GB/T 15972—1998 在《光纤总规范》总标题下包括五个部分:

第1部分(即 GB/T 15972.1):总则

第2部分(即 GB/T 15972.2):尺寸参数试验方法

第3部分(即 GB/T 15972.3):机械性能试验方法

第4部分(即 GB/T 15972.4):传输特性和光学特性试验方法

第5部分(即 GB/T 15972.5):环境性能试验方法

本标准是第3部分。

本标准的附录 A 是标准的附录。

本标准的附录 B、附录 C、附录 D 都是提示的附录。

本标准从实施之日起,同时代替 GB/T 8403.1~8403.5—1987 和 GB/T 15972—1995。

本标准由中华人民共和国邮电部和电子工业部共同提出。

本标准由邮电部电信科学研究规划院归口。

本标准起草单位:邮电部武汉邮电科学研究院、电子工业部上海传输线研究所。

本标准主要起草人:陈永诗、刘泽恒、吴金良、陈国庆。

IEC 前言

1) IEC(国际电工委员会)是一个包括所有国家电工委员会(IEC 国家委员会)的世界性标准化组织。IEC 的目标是促进电气和电子领域内涉及的所有标准化问题的国际合作。为了此目的,除其他活动外,IEC 发布国际标准。标准的制定委托给技术委员会。对该内容感兴趣的任何 IEC 国家委员会都可以参加这个制定工作。与 IEC 有联系的国际的、政府的和非政府的组织也可参加制定工作。IEC 与国际标准化组织(ISO)按照双方协商确定的条件密切合作。

2) IEC 在技术问题上的正式决议或协议,是由对这些问题特别关注的国家委员会参加的技术委员会制定的,对所涉及的问题尽可能地代表了国际上的一致意见。

3) 这些决议或协议应按国际应用的建议,以标准、技术报告或导则的形式发布,并在此意义上为各国家委员会接受。

4) 为了促进国际上的统一,IEC 各国家委员会有责任使其国家和地区标准尽可能采用 IEC 国际标准。国家或地区标准与 IEC 标准之间的任何差异应在国家或地区标准中清楚地指明。

国际标准 IEC 793-1-3 由 IEC 第 86 技术委员会(纤维光学)的第 86A 分委员会(光纤光缆)制定的。1992 年颁布的 IEC 793-1 第 4 版已被修改。它被分成五个标准,每个标准包括一篇。

IEC 793-1-3 的第 1 版取消并替代 IEC 793-1 的第 3 篇,形成了一个技术修订版。

本标准应与下列标准结合起来使用:

IEC 793-1-1:1995, 光纤 第 1 部分:总规范 第 1 篇:总则

IEC 793-1-2:1995, 光纤 第 1 部分:总规范 第 2 篇:尺寸参数试验方法

IEC 793-1-4:1995, 光纤 第 1 部分:总规范 第 4 篇:传输特性和光学特性试验方法

IEC 793-1-5:1995, 光纤 第 1 部分:总规范 第 5 篇:环境性能试验方法

本标准文本依据下列文件:

国际标准草案	表决报告
86A/302/DIS	86A/328/RVD

表决批准本标准的全部资料可在上表中列出的表决报告中查阅。

附录 A 是标准的附录。

附录 B 是提示的附录。

附:修改单前言

修改单 1 是由 IEC 第 86 技术委员会(纤维光学)的第 86A 分委员会(光纤光缆)制定的。

修改单 1 的文本依据下列文件:

最终国际标准草案	表决报告
86A/340/FDIS	86A/363/RVD

表决批准本修改单的全部资料可在上表中列出的表决报告中查阅。

附录 C 和附录 D 是提示的附录。

中华人民共和国国家标准

光纤总规范 第3部分：机械性能试验方法

GB/T 15972.3—1998
eqv IEC 793-1-3:1995

Generic specification for optical fibres Part 3: Measuring methods for mechanical characteristics

代替 GB/T 8403.1~8403.5—1987
GB/T 15972—1995 一部分

1 范围

本标准规定了对光纤机械性能统一的技术要求和试验方法。

本标准适用于具有预涂覆层或缓冲层玻璃光纤的机械强度试验、操作性能试验以及物理缺陷、可剥性、应力腐蚀敏感性参数以及光纤翘曲的检测。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 2421—1989 电工电子产品基本环境试验规程 总则(eqv IEC 68-1:1988)

GB/T 15972.4—1998 光纤总规范 第4部分:传输特性和光学特性试验方法

3 机械性能试验项目

光纤的机械性能应按表1中所列项目进行检验,验收准则和样品数目应在产品规范中规定。

表1 光纤的机械性能

试验方法标准号	试验方法	试验方法适用的性能
GB/T 15972-B1 GB/T 15972-B2A GB/T 15972-B2B*	光纤筛选试验 短长度光纤的抗张强度 大长度光纤的抗张强度	机械强度
GB/T 15972-B4*	磨损	操作性能
GB/T 15972-B5* GB/T 15972-C1C	目视检验 背向散射法	物理缺陷
GB/T 15972-B6	可剥性	可剥性
GB/T 15972-B7A GB/T 15972-B7B GB/T 15972-B7C GB/T 15972-B7D GB/T 15972-B7E	轴向张力法的动态疲劳 两点弯曲法的动态疲劳 轴向张力法的静态疲劳 两点弯曲法的静态疲劳 均匀弯曲法的静态疲劳	应力腐蚀敏感性参数
GB/T 15972-B8A GB/T 15972-B8B	侧视显微法 激光束散射法	翘曲性能
* 在考虑之中		

4 工作定义

4.1 一段玻璃光纤的机械强度

a) 一段玻璃光纤的机械强度与该段长内存在的最深裂纹的深度有关。

在环境温度和湿度条件下,一段光纤受到应力 σ 时,裂纹深度将按查尔斯(Charles)提出的关系式增加:

$$\frac{da}{dt} = AK_I^n \dots\dots\dots (1)$$

根据格里菲斯(Griffith)理论, K_I 由 $K_I=Y\sigma a^{1/2}$ 给定。

式中: K_I ——应力强度因子;

Y ——形状因子(常数);

σ ——应力;

n ——应力腐蚀敏感性参数(常数);

a ——裂纹深度;

A ——比例常数,由实验确定。

如图1所示,在时间 Δt 内,裂纹增长到某一数值,使 K_I 达到 K_{IC} ,即临界应力强度因子时,光纤将断裂。

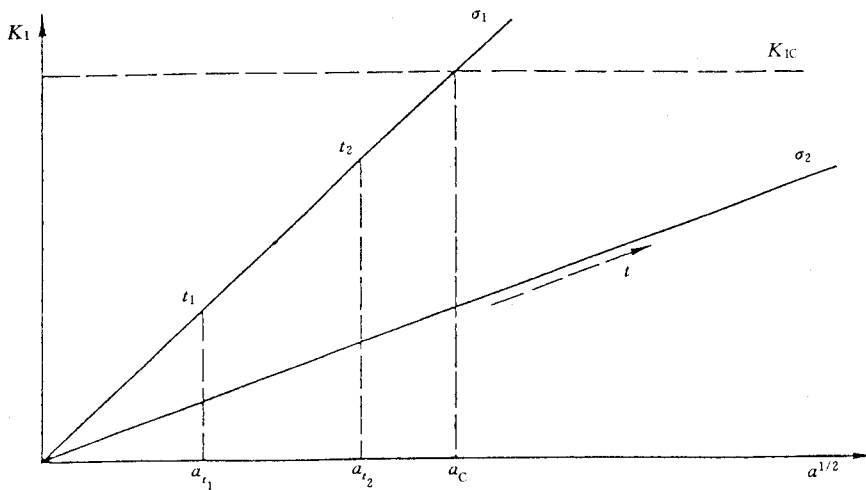


图1 在应力下玻璃光纤的裂纹增长曲线图

b) 举例说明:

当一根光纤在时间 $\Delta t=t_2-t_1$ 内受到应力 σ_1 时,裂纹深度将从 a_{i1} 增长到 a_{i2} 。

然而,在产品验收中,应假设在应力 σ_1 下作筛选试验后, a 几乎已达到 a_c 值,即光纤将发生断裂的数值,如要避免光纤断裂,以后的应力 $\sigma_2(t>t_2)$ 时必须小于 σ_1 。

5 物理缺陷

光纤内可能存在物理缺陷,例如含有杂质和气泡,这将影响光纤的光学性能和机械性能。某些类型的缺陷可用光学反射技术(方法 GB/T 15972-C1C)或其他测量方法检查出来。

6 方法 GB/T 15972-B1——光纤筛选试验

6.1 目的

本试验是对一根光纤的全长作筛选试验,去除机械强度低于或等于筛选试验水平的点。

6.2 试验条件

试验应在 GB/T 2421 规定的标准大气条件下进行。

6.3 一般试验程序

6.3.1 筛选试验应按下列方法之一进行：

- a) 恒定应力；
- b) 恒定轴向应变；
- c) 恒定弯曲应变。

6.3.2 具有足够弹性模量和厚度的保护预涂覆层和缓冲层的光纤，只要能经受施加的轴向和径向力，并能保护光纤表面不受有害的径向应力的影响，可以采用恒定应力筛选试验和恒定轴向应变筛选试验。预涂覆层和缓冲层不足以经受这些力的光纤，可以采用恒定弯曲应变筛选试验。

6.3.3 筛选试验水平应按有关产品规范中的规定。

6.3.4 光纤放线和收线中的张力变化应对设备的筛选试验区无影响。

6.3.5 应根据产品规范规定的筛选试验时间确定光纤通过试验装置的速度和试验装置几何形状。

6.4 恒定应力筛选试验

6.4.1 装置

恒定应力筛选试验装置通常如图 2 所示。A 和 C 是驱动轮或滑轮。B 是自由运动轮，与 A、C 两轮处于同一平面内，该轮在通过其轴的垂直线上作自由运动。重物 W 加在 B 轮上提供与应力相应的张力 T 。光纤与 A、B、C 三轮之间应有较高的静态摩擦系数，使滑动减至最低程度，可以用加压皮带等方式来达到这一要求。应以恒定的角速度驱动 A 轮，用合适的方式调整 C 轮转动的角速度，使 B 轮始终保持在恒定的垂直位置上。放线张力 T_i 和收线张力 T_o 应不超过试验张力 T 的 10%。轮子的直径应使光纤试样由于弯曲在任一点上产生的应力不超过试验值的 10%。

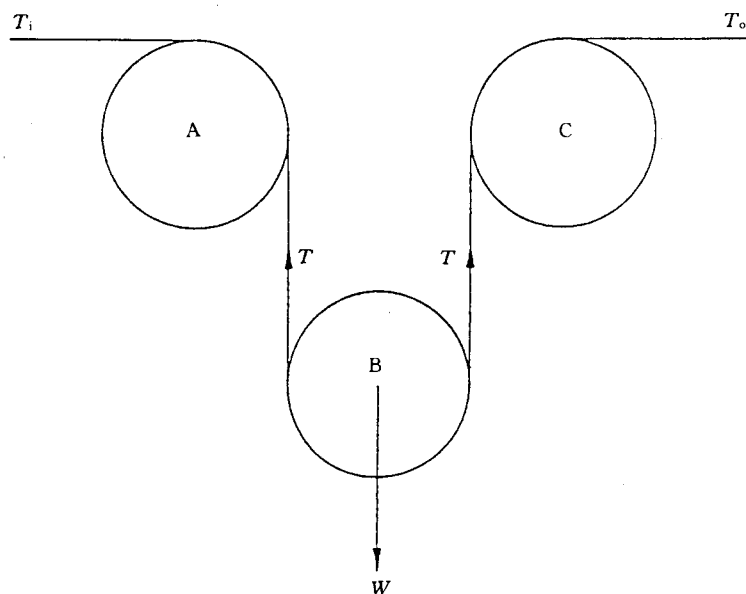


图 2 恒定应力筛选试验装置

6.4.2 程序

光纤应以与产品规范中规定的筛选时间相应的速度通过试验装置。

施加到自由运动轮 B 上的重物质量 W 应按产品规范中的规定。

6.5 恒定轴向应变筛选试验

6.5.1 装置

恒定轴向应变筛选试验装置通常如图 3 所示。A 和 B 是轮子或滑轮，用等于规定应变的圆周速度

差进行转动。

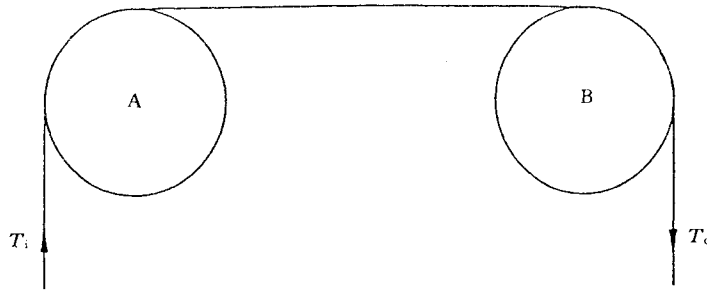


图3 恒定轴向应变筛选试验装置

当 A、B 两轮的标称直径相同时,可调整两轮的速度,使两轮转动的角速度差与要求的应变水平相适应。当 A、B 两轮的角速度相同时,可调整两轮的直径,使两轮直径的比值与要求的应变水平相适应。光纤与 A、B 两轮之间应有较高的静态摩擦系数,使滑动减至最低程度,可用加压皮带等方式来达到这一要求。放线张力 T_1 和收线张力 T_2 应不超过试验值的 10%。轮子直径应使光纤试样由于弯曲在任一点上产生的应力不超过试验值的 10%。

6.5.2 程序

用调节速度的方法控制两轮子给出要求的转动差,或者用要求的直径差来配备轮子,把施加的应变设定到产品规范中规定的值。

光纤应以与产品规范中规定的筛选时间相应的速度通过试验设备。

6.6 恒定弯曲应变筛选试验

6.6.1 装置

恒定弯曲应变筛选试验装置通常如图 4 所示。A、B 和 C 是三个绕着各自的轴自由转动的滚轮,其轴相互平行。光纤在足够张力牵引下,呈弯曲状通过三个自由转动的滚轮,光纤弯曲与三个滚轮排列的几何形状一致。根据光纤保护预涂覆层和缓冲层的厚度,选择合适的滚轮直径使光纤表面由弯曲产生的最大应变等于要求的应变。

为了保证基本恒定的最大应变作用到光纤表面的所有部分,应使用与第一组滚轮成一定角度的若干组滚轮。一般可以使用彼此成 45° 角的四个滚轮组(见图 5)。

应调整好光纤放线和收线装置,以避免光纤通过机器时产生扭曲。

6.6.2 程序

通过选择滚轮直径把应变设定到产品规范中规定的值。光纤应以与产品规范中规定的筛选时间相应的速度通过试验设备。

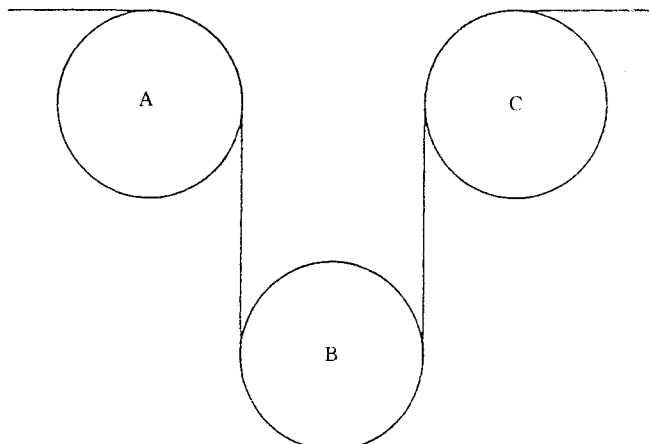


图4 恒定弯曲应变筛选试验装置

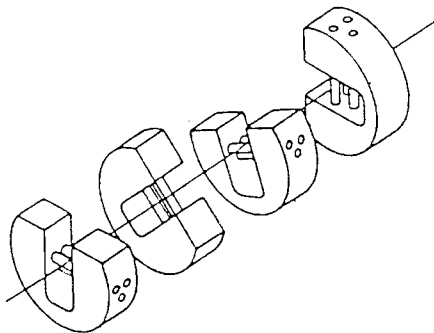


图5 复合滚轮

6.7 要求

采用任一方法对光纤进行筛选试验后,应使用光时域反射仪或其他方法检查光纤是否断裂。光纤应不断裂。

6.8 结果

a) 试验结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试验日期和操作人员;
- 3) 光纤标识;
- 4) 试样长度;
- 5) 环境温度和相对湿度;
- 6) 应力(或应变)、施加应力时间、卸去应力的时间;
- 7) 筛选试验时每公里光纤的断裂次数。

b) 报告也可包括下列内容:

- 1) 试验方法;
- 2) 装置说明。

7 方法 GB/T 15972-B2A——短长度光纤的抗张强度

7.1 目的

本试验将给出短长度光纤的抗张强度值。一根给定光纤的抗张强度值的分布主要取决于试样长度、拉伸速度和环境条件。本试验应在要求光纤强度统计数据的情况用于光纤检验。应采用统计质量控制分布的方法来报告试验结果。通常,试样经温度和湿度预处理之后进行试验。在某些情况下,也可不作预处理,直接在环境温度和湿度条件下测试抗张强度值。

7.2 试样制备

制备试样应使试验长度达到 1 m。

7.3 装置

应使用一台合适的拉力机,光纤夹具应避免试样损坏和打滑。拉伸速度每分钟应为试样长度的约 3%~5%。

注:拉力机的拉伸方向可以是垂直的或水平的。夹持光纤可以用卡盘或其他合适的方法。

7.4 预处理(是否预处理,按产品规范中的规定)

如果需要,试样可在温度 20℃ 的自来水槽中或在气候箱(如控制温度 23℃ 和相对湿度 95%)中作预处理。预处理时间应不少于 24 h。

7.5 程序

试验 A(不作预处理):

将试样安置在拉力机上,两夹具之间的光纤自由长度应达到1 m。拉伸速度按光纤产品规范中的规定。

试验 B(作预处理):

将试样从预处理装置中取出后5 min内以与试验 A 中相同的程序开始试验。

7.6 结果

a) 试验结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试验日期和操作人员;
- 3) 光纤标识;
- 4) 试样长度;
- 5) 环境温度和相对湿度;
- 6) 标距长度(即夹具之间的距离);
- 7) 夹具类型;
- 8) 拉伸速度;
- 9) 强度值(光纤断裂时的应力值和应变值)。

b) 作为参考资料,报告也可包括下列内容:

- 1) 同类光纤的质量分布,例如威布尔(Weibull)分布。分布曲线与试验光纤总长度以及各试样长度有关;
- 2) 装置说明。

注:在夹具附近(例如:10 mm~15 mm)断裂时,其数值不应计入统计质量控制分布中,而应分开报告。

8 方法 GB/T 15972-B2B——大长度光纤的抗张强度

在考虑之中。

9 方法 GB/T 15972-B4——磨损

在考虑之中。

10 方法 GB/T 15972-B5——目视检验

在考虑之中。

11 方法 GB/T 15972-B6——可剥性

11.1 目的

11.1.1 本试验是定量确定沿光纤纵轴向机械剥去保护涂覆层所需的力。

11.1.2 本试验主要用于检验光纤制造厂生产的光纤或其后采用各种聚合物作外被覆层(紧包缓冲层)的光纤。本试验可在刚制造的或在暴露到各种环境中之后的光纤上进行。

11.1.3 本试验适用 A1、A2 和 B 类光纤。

11.2 装置

11.2.1 拉伸装置

应使用一台合适的装置,例如立式拉力机,来提供受试光纤和剥离工具之间的相对运动。

拉伸装置应能提供恒定的剥离速率,没有猛拉受试光纤或剥离工具的现象。剥离速率应按 11.4.1 的规定进行。

该装置应能提供两个方向的相对运动,以便复位。剥离工具应在拉伸装置的夹头上夹紧,其刀刃应与光纤轴保持垂直,并要防止光纤弯曲,把受试光纤的另一端固紧。为防止光纤断裂,用于在夹持点固紧

光纤的方法不应使光纤遭受过大的应力。

试验装置实例如图 6 所示。

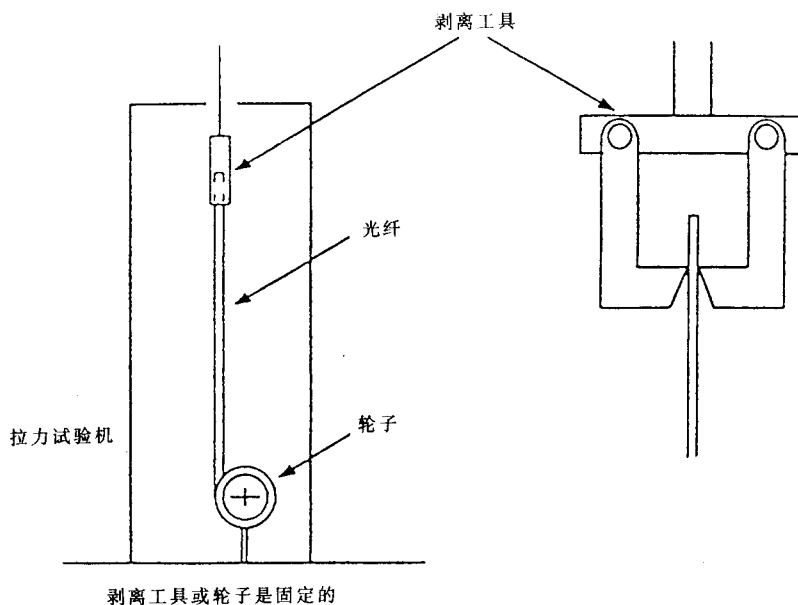


图 6 涂覆层剥离试验装置示意图

注：剥离工具或轮子是固定的。

11.2.2 力值传感器

采用合适的能检测出剥去光纤涂覆层时施于光纤上力的任何装置。

11.2.3 转换放大器

本装置接收来自力值传感器的信号，并显示受试光纤直到涂覆层剥掉时的剥离力，力值读数应是连续的。例如使用一台曲线记录仪，来提供足够的资料进行计算最大力和平均力，以及剥离期间力值波动的幅度和频率。

力值的测量精度应按产品规范中规定。

11.2.4 剥离工具

11.2.4.1 试验结果的准确性主要取决于剥离工具的设计，故剥离工具的设计应遵守下列准则：

a) 为了不损伤包层表面，工具刀刃孔的直径或刀刃间的距离应大于被剥离光纤标称包层直径。例如，对于目前通用的光纤来说，刀刃中的孔或之间的距离应比标称包层直径大 $50\ \mu\text{m}$ ；

b) 剥离工具的刀刃应不引起光纤弯曲。在本试验中，剥离工具的刀刃对接在同一平面上为最佳状态。

11.2.4.2 剥离工具应安装在试验固定架上，并使用合适的夹具，使其紧紧夹持在光纤的周围。

11.2.4.3 剥离工具使用一段时间后，或刀刃已磨损到足以影响试验结果时，应予以更换。

注：剥离工具磨损会影响下列的任一项或全部：光纤断裂、玻璃光纤表面涂覆层残余量、从光纤上剥去涂覆层的方式以及剥去涂覆层所需的力。

11.2.5 光纤导向孔

应使用一种合适的导向孔（可以设计在剥离工具自身上），使要通过剥离工具的光纤保持笔直。导向孔要满足下列要求：

- 导向孔应能支撑光纤，防止光纤自重引起的下弯；
- 导向孔应能防止涂覆层被剥去时的皱缩而引起的光纤弯曲；
- 导向孔应尽可能在靠近剥离工具的位置，且不妨碍剥离操作；
- 导向孔应易于安装到试验装置上，且容易清洗，如果涂覆层皱曲，应能免受干扰。

11.3 试样制备

11.3.1 代表性试样

试样应能代表总体光纤,以便作出正确的质量评估。由于试验的可变性,故至少取 10 段试样做试验,然后取平均值得到该试样的试验结果。

11.3.2 试样长度

所剥光纤长度会影响剥离力。对于标称涂覆层直径为 $250\ \mu\text{m}$ 的光纤,所剥光纤长度对剥离力影响很小。光纤的剥离长度应当在产品规范中规定(对于标称涂覆直径为 $250\ \mu\text{m}$ 的光纤,可取的值为 20 mm、30 mm 和 50 mm。对于较粗的涂覆层直径,可选取较短的剥离长度)。

试样总长度由光纤固定端与剥离工具间的距离、要通过剥离工具所规定的待剥光纤长度(见图 7)和在固定端把光纤绕到轮子上所需的长度来确定。试验结果部分地取决于光纤的剥离长度,与试样总长度无关。

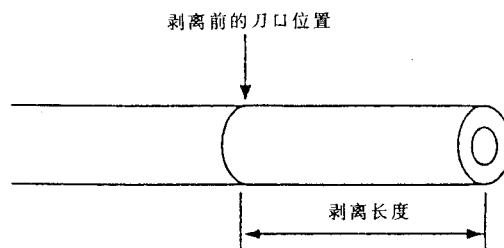


图 7 剥离长度示意图

11.4 程序

11.4.1 设定剥离速率

从光纤上剥去涂覆层所需的力部分地取决于剥离速率。如果要比较不同试验的结果,应采用相同的剥离速率。拉伸试验机应能按产品规范中规定的速率在光纤与剥离工具之间提供相对运动(对于标称涂覆层直径为 $250\ \mu\text{m}$ 的光纤,可取的值为 100 mm/min 或 500 mm/min;较粗涂覆层直径的剥离速率可取 100 mm/min)。

11.4.2 预处理

试样应在 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的温度和 30%~60% 的相对湿度下至少预处理 24 h。

11.4.3 标定转换放大器

每组试验前,应按设备仪器使用说明书标定转换器和力值传感器。

11.4.4 安装试样

安装光纤之前,剥离工具两刀刃周围的区域应无残渣和/或累积物。

试验光纤的一端应固紧在试验夹具上,使其在加载时不打滑(例如光纤在直径为 80 mm 的轮子上绕三圈)。光纤的另一端穿过剥离工具,并插入到光纤导向孔中。

11.4.5 剥离涂覆层

11.4.5.1 距光纤端头规定的距离处切开涂覆层。

11.4.5.2 启动拉伸试验机,在光纤和剥离工具之间提供一个恒定的相对运动,从光纤上剥去涂覆层。

11.4.5.3 观察、测量并记录剥去玻璃光纤涂覆层所需的力,要去除试验期间光纤断裂情况下的数据。

11.4.5.4 当涂覆层完全从光纤上剥去时,试验完成。

注:光纤上留有任何肉眼可见的涂覆层残留物,应能用实验室薄纸很容易地轻轻擦去。

11.5 结果

a) 试验结果应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试验日期和操作人员;
- 3) 受试光纤的识别,包括涂覆层外径和涂覆层材料类型;

- 4) 预处理和试验期间的环境条件,包括温度和相对湿度;
 - 5) 受试光纤未断裂或者未损坏的数目;
 - 6) 对 10 段或更多段试样上去掉第一个峰值后平均剥离力进行平均的结果值;
 - 7) 试验总体的标准偏差或范围;
 - 8) 完全剥去涂覆层以前,受试光纤的断裂或损坏数目;
 - 9) 是否有涂覆层残留物。
- b) 试验结果还可包括下列内容:
- 1) 试验方法;
 - 2) 使用的剥离工具类型的识别,包括制造厂和刀刃孔的标称尺寸;
 - 3) 剥离速率;
 - 4) 被剥离涂覆层的长度。

12 应力腐蚀敏感性参数的测定——概述

确定应力腐蚀敏感性参数主要有五种试验方法。实际上分为两大类,即动态疲劳试验法和静态疲劳试验法。

任何光纤的机械试验都应在尽可能接近实际应用的模拟条件下确定断裂应力和疲劳性质。合适的试验方法如下:

- 1) 轴向张力下的动态疲劳;
- 2) 两点弯曲下的动态疲劳;
- 3) 轴向张力下的静态疲劳;
- 4) 两点弯曲下的静态疲劳;
- 5) 均匀弯曲下的静态疲劳。

以上试验方法适用于 A1、A2 类多模光纤和 B 类单模光纤。所有试验都应在恒定的环境条件下进行。试验期间,温度的标称值应在 20℃~23℃之内,容差为±2℃;相对湿度的标称值应在 40%~60%之内,容差为±5%。为了获得可靠的实验结果,要求相对湿度的标称值靠近优选值,其优选值为 50%RH。

所有试样在试验环境中至少预处理 12 h。

光纤置于高温高湿环境中即使是短暂的时间,用这些试验方法测量的 n 值也会改变。

这些试验方法的使用指南在附录 B(提示的附录)中给出。

注:用各种疲劳试验方法得到的应力腐蚀敏感性参数 n 值可能不同。测量时间和施加的应力量对测试结果均有影响,在选择试验方法时必须小心,选择何种方法应在用户和制造厂之间达成一致。

如果静态和动态疲劳试验在相同的有效测试时间内完成,则两种试验方法的结果相差不大。对动态疲劳试验而言,这意味着其测试时间是静态疲劳试验测试时间的 $(n+1)$ 倍。

采用静态疲劳试验方法时,对较长的测量时间和相应较低的施加应力水平, n 值增加。本标准中给出的静态疲劳试验测试时间范围比在相对短的时间内完成的动态疲劳试验测试时间范围更接近实际情况。

13 方法 GB/T 15972-B7A——用轴向张力法测量光纤动态疲劳参数

13.1 目的

本方法用来确定光纤在规定的恒定应变速率下的动态疲劳参数。

本方法只用于在最高应变速率下中值断裂应力大于 3 100 MPa 的光纤。对中值断裂应力小于 3 100 MPa 的光纤,本方法的测试条件达不到足够的精度。

本方法通过改变应变速率来试验光纤的疲劳性能。本试验适用于断裂应力值的对数与应变速率的对数呈线性关系的那些光纤和应变速率。

13.2 装置

本条规定了用于动态断裂应力试验装置的基本要求。典型示例见图 8、图 9 和图 10。张力试验中试样的标距长度为 500 mm。

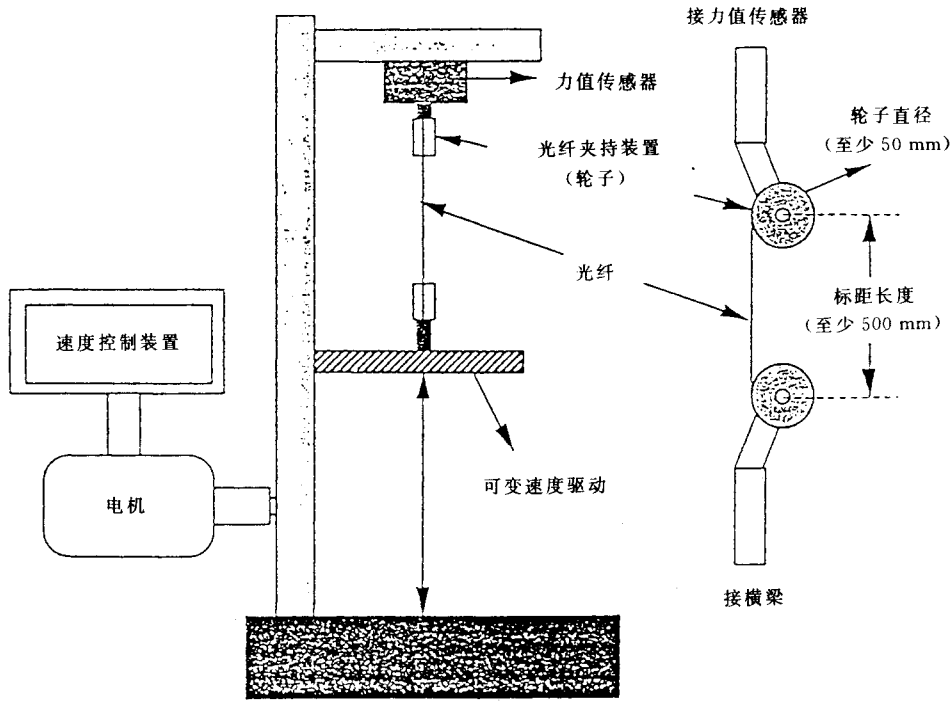


图 8 拉伸试验装置示意图

13.2.1 试样夹持

应把受试光纤段两端夹紧，并施加张力直到光纤标距长度区域发生断裂，应尽量减少光纤在夹持处的断裂。

应记录光纤在夹持处的断裂，但不算作试样的有效数目或不用于随后的计算中。

选择一种用弹性材料套覆盖表面的合适轮子来夹持光纤(见图 8)。不受试验的一段光纤围绕轮子缠绕几圈，端头用弹性带或胶粘带固定。光纤绕在轮子上不得交叉。光纤伸长前两轮轴芯之间的光纤长度定为标距长度。

确定轮子和滑轮直径的原则是，缠绕在轮子上的光纤不应受到能引起光纤断裂的弯曲应力。对典型的石英系光纤，如图 8 那样缠绕在轮子上或绕过滑轮时，弯曲应力不应超过 175 MPa(对 125/250 μm-包层/涂覆层-石英光纤，最小的轮子直径为 50 mm)。轮子表面应有足够的刚性，以保证充分加载时，光纤不会切割表面。通过预先试验的方法能够确定这一条件。

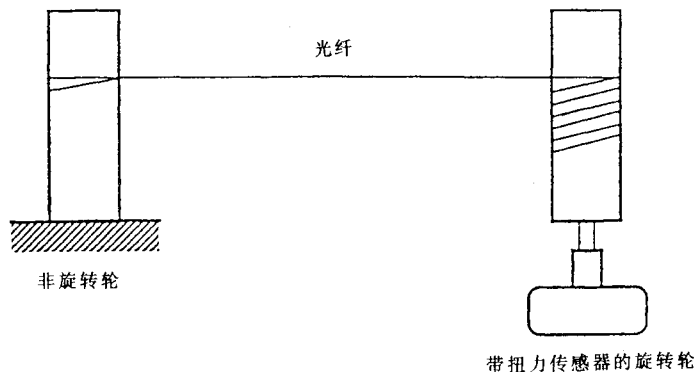


图 9 旋转试验装置示意图

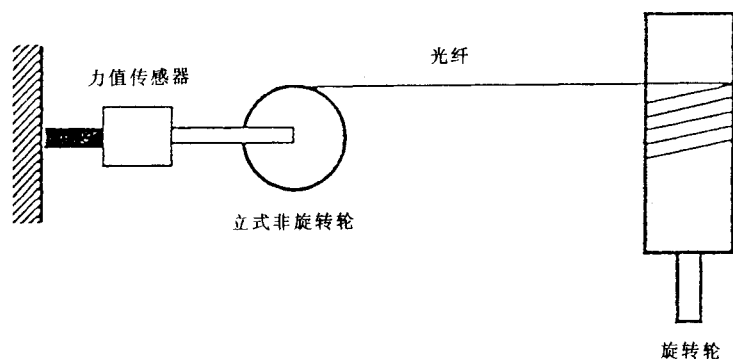


图 10 旋转试验装置示意图

13.2.2 给光纤施加应力

光纤应在恒定的应变速率下伸长直至断裂。伸长速率用每分钟标距长度伸长的百分比来表示。完成光纤伸长直至断裂的方法有两种：

a) 在恒定的速率下移动一个或两个轮子来增加夹持轮子之间的间距，其初始间距等于光纤的标距长度(见图 8)；

b) 旋转一个或两个轮子来收紧受试光纤(见图 9 和图 10)。

应变速率就是单位时间内受试光纤两定点之间的长度变化，用百分比/时间表示。

如果使用方法 b)，应采取措施防止光纤在旋转轮上缠绕时互相交叉。

如果同时试验多根光纤，应保护每根光纤不受相邻光纤的影响，以便在断裂处的鞭击不损伤其他受试光纤。

13.2.3 测量断裂力

应采用一个力值传感器测定每根试验光纤在拉伸过程中直至断裂时的抗张应力。对每一断裂应力范围，传感器应定标在断裂负载或最大负载的 0.5% (0.005) 以内。力值传感器应与光纤受到负载时的同样方式进行定标和定向。对方法 b)，当用一根绳子和标准重量来标定力值传感器时，应当用一个轻的、低摩擦的滑轮(或滑轮组)来代替非旋转轮(见图 9)或旋转轮(见图 10)。一端连接到负载测试装置(或其轮子上)的绳子应模仿实际试验光纤的方向，并且粗细或直径类似于受试光纤。标定力值传感器至少使用三种标定重量，其中包括典型的断裂负载或最大负载(最大负载的 50%，最大负载，高于最大负载 50%)。

应用记录仪记录断裂时的最大张力负载，其响应时间应满足记录的断裂负载在真实值的 1% 以内。

注：对卧式旋转轮试验机的力值传感器进行标定时，滑轮的摩擦影响可导致相当大的误差。

13.2.4 设定应变速率

速度控制单元的设定应通过试验确定，以符合规定的应变速率，应变速率应当用每单位时间标距长度的百分数表示。最大应变速率应不大于 100%/min。选择有效的最大应变速率时，应考虑试验方法的各个方面，诸如设备的能力及试样的材料特性。除最大应变速率外，还应另外使用三种应变速率，它们大致以 1 个数量级的大小依次从最大应变速率减小到最小应变速率。

使用较快的应变速率结合较低的负载值来缩短试验周期是可能的。例如，若规定的应变速率为 0.025%/min，先用次快速率(0.25%/min)来试验一些试样，以建立断裂应力范围。接着，用次快速率把光纤预加载到等于或小于在此速率下找到的最低断裂应力的 80%。接着，再按规定的应变速率进行试验直至光纤断裂。

13.2.5 表征应力速率

应力速率会随光纤类型、拉伸设备、断裂应力、光纤打滑和施加的应变速率的不同而变化。可用下式

表征用于疲劳计算中每一应变速率下的应力速率 $\dot{\sigma}_a$ ：

$$\dot{\sigma}_a = \frac{0.2 \times \sigma_f}{t(\sigma_f) - t(0.8 \times \sigma_f)} \dots\dots\dots (2)$$

式中： σ_f ——断裂应力；

$t(\sigma_f)$ ——断裂时间；

$t(0.8 \times \sigma_f)$ ——至断裂应力 80% 时所用时间。

13.3 试样

13.3.1 样本大小

由于测试结果的可变性,对每一种应变速率至少测试 15 个试样,且舍去各应变速率下最低断裂应力数据点。当 σ_f 对 $\dot{\sigma}_a$ 曲线斜率的估算标准偏差(SEE)为 0.0017 或更大时,则对每种应变速率应至少试验 30 个试样,并舍去各应变速率下的两个最低断裂应力数据点。

13.3.2 样本大小(可选择的)

正如附录 A(标准的附录)的 A1 中解释的,在某些应用中,需要知道估算动态(张力)应力腐蚀敏感性参数 n_d 的置信区间时,可能需要一些附加的试样。各种样本大小可查阅表 A1,样本的大小取决于期望的动态威布尔(Weibull)斜率 m_d 。附录 A 中 A2 的算法只限于每种应变速率都规定相同的样本大小的那些试验。

13.4 程序

本程序描述了如何从在给定的应变速率下试验的一组给定试样获得光纤断裂应力。数据的总体统计计算在 13.5 中给出。

13.4.1 设定和记录标距长度(见 13.2.2)。

13.4.2 设定和记录应变速率(见 13.2.4)。

13.4.3 如果使用方法 a),把夹持轮返回到标距长度的间隔位置。

13.4.4 把试样两端依次安装在夹具上。光纤的切线点应与负载标定时处于同一位置。引导每根试样,在卡盘上至少缠绕要求的圈数,缠绕过程不得自相交叉。

13.4.5 将负载记录仪置“0”。

13.4.6 启动电机拉伸光纤。记录应力与时间的关系曲线,直至光纤断裂,停转电机。

13.4.7 对试样组内的所有光纤重复程序 13.4.3 至 13.4.6。

13.4.8 使用 13.5.1 的方程,计算每根光纤的断裂应力 σ_f 。

13.4.9 根据 13.2.5 的方程,计算应力速率 $\dot{\sigma}_a$,以备在 13.5.3 中使用。

13.4.10 使用 13.5.2 的方程,完成需要的总体统计计算。

13.5 计算

13.5.1 断裂应力

当忽略涂层效应(小于 5%)时,对通用包层直径为 125 μm 、涂覆层直径为 250 μm (聚合物涂覆层)的光纤,可用下式计算断裂应力 σ_f ：

$$\sigma_f = T/A_g \dots\dots\dots (3)$$

式中： T ——涂覆层光纤试样的断裂张力；

A_g ——玻璃光纤的标称横截面积。

当涂覆层的效应明显时,可采用附录 A 中 A3 给出的一种更完整的方法计算断裂应力 σ_f 。

13.5.2 给定应变速率下的断裂应力

绘制表征总体的威布尔(Weibull)分布曲线需按以下步骤进行：

a) 将断裂应力从最低值至最高值依次排列好,并按顺序给定一个序号 k ,即第一号为最低断裂应力,第二号为次低断裂应力等等。即使几个试样的断裂应力相同,也要对其给定不同的序号。

b) 计算每一断裂应力的累积失效概率 F_k ：

$$F_k = (k - 0.5)/N \quad k = 1, 2, \dots, N \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中: N ——样本大小。

c) 绘出 $\ln[-\ln(1-F_k)]$ 对 $\ln(\sigma_f)$ 的威布尔(Weibull)曲线。

注: 用威布尔(Weibull)概率纸, 可得到这根曲线。

d) 曲线上标出所需数据。

对给定标距长度和直径的试样, 动态疲劳威布尔(Weibull)曲线与下述累积概率函数有关:

$$F_k = 1 - \exp[-(\sigma_f/\sigma_o)^{m_d}] \quad \dots\dots\dots(5)$$

设 $k(P) = PN + 0.5$ 来定义一个与给定概率 P 有关的序号。若 $k(P)$ 为整数, 令 $\sigma_f(P) = \sigma_{fk}(P)$ 为第 $k(P)$ 序号的断裂应力。若 $k(P)$ 不为整数, 令 k_1 为低于 $k(P)$ 的整数, 且 $k_2 = k_1 + 1$ 。然后, 令 $\sigma_f(P) = (\sigma_{fk_1} \sigma_{fk_2})^{1/2}$ 。

中值断裂应力为 $\sigma_f(0.5)$ 。威布尔(Weibull)斜率为:

$$m_d = \frac{2.457298}{\ln[\sigma_f(0.85)] - \ln[\sigma_f(0.15)]} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中: $\sigma_f(0.85)$ ——累积失效概率为 0.85 时的断裂应力;

$\sigma_f(0.15)$ ——累积失效概率为 0.15 时的断裂应力。

威布尔(Weibull)参数为:

$$\sigma_o = \exp\left[\frac{0.366512}{m_d} + \ln[\sigma_f(0.5)]\right] \quad \dots\dots\dots(7)$$

绘出每种应力速率的威布尔(Weibull)分布曲线, 确定每种应力速率的中值断裂应力 $\sigma_f(0.5)$ 。

13.5.3 动态(张力)应力腐蚀敏感性参数 n_d

中值断裂应力 $\sigma_f(0.5)$ 通常会随恒定应力速率 $\dot{\sigma}_a$ 按下式变化:

$$\lg \sigma_f(0.5) = \frac{\lg \dot{\sigma}_a}{1 + n_d} + \text{截距} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中截距为单位应力速率下断裂应力的对数, 如图 11 所示。

截距可按式计算:

$$\text{截距} = \bar{Y} - (\text{斜率}) \cdot \bar{X} \quad \dots\dots\dots(9)$$

采用附录 A 中 A2 给出的算法计算 \bar{Y} 、 \bar{X} 、 n_d 估算值和试验的 95% 置信区间。 $\lg \sigma_f$ 与 $\lg \dot{\sigma}_a$ 曲线斜率的估算标准偏差(SEE)应小于 0.0017。参见附录 A 中 A2 确定 SEE。

13.6 结果

a) 试验结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试验日期和操作人员;
- 3) 光纤标识;
- 4) 环境温度和相对湿度;
- 5) 动态(张力)应力腐蚀敏感性参数 n_d (其他参数在考虑中)。

b) 按用户要求提供下列数据:

- 1) 应变速率;
- 2) 每种应变速率下的样本大小;
- 3) 估算值标准偏差(SEE);
- 4) \bar{Y} 和 \bar{X} ;
- 5) 标距长度;
- 6) 环境预处理时间;
- 7) 断裂应力计算方法;