

光学纤维面板测试技术的新进展

刘石安 张富荣 刘淑慈 李宝琴

(建筑材料科学研究院)

摘要: 本文介绍了TGL—I型光纤面板透过率测试仪, SKC—I型光纤面板数值孔径测试仪和GFC—I型光纤面板分辨率测试仪的结构原理、特点和测试方法, 以及列为国家军用标准的光纤面板真空气密性检验方法的研究成果。

一、前 言

光学纤维面板(以下简称光纤面板)作为当代电子—光学成像器件的关键元件, 在国外是六十年代初问世, 我国则于七十年代后期在我院首先研制成功。全面衡量光纤面板的质量有, 真空气密性、光学冷加工精度、以及光学、热学、电学和化学性能等指标共约20余项。实际上, 还可依据应用的场合提出不同要求的指标。目前, 国际上对光纤面板性能测试尚无统一标准; 在我国国内各单位所用的仪器(装置)和方法也不统一。有待于进一步改进和完善, 以便为统一评价光纤面板性能制订国家标准作准备。

我院虽有国内最早研究光纤面板的经验, 产品品种和质量在不断发展和提高, 但光纤面板测试的条件较差。为适应科研和生产的需要, 在研究了当时国内外情况的基础上, 根据我院实际和目前产品质量要求, 于1982年委托北京工业学院研制了测试光纤面板主要光学性能的TGL—I型光纤面板透过率测试仪、SKC—I型光纤面板数值孔径测试仪、和GFC—I型光纤面板分辨率测试仪。这项任务是经我院与北京工业学院共同拟定了设计思想、主要技术指标和研制方案, 由北京工业学院进行技术设计和研制。于1985年完成了样机试制后, 由原五机部主持了技术鉴定。这几台仪器的性能与国内其他用于同一目的仪器相比, 有了很大改进, 经几年来的实际使用, 性能良好, 对产品质量的控制和新产品的开发起了重要作用。

二、光纤面板透过率的测量

透过率是衡量光纤面板质量好坏的一个重要参量。每块光纤面板应具有良好的透过性能。影响光纤面板透过性能的因素很多; 主要有, 光学纤维芯料的吸收, 光纤面板端面的反射损失, 芯皮界面的全反射损失, 光纤面板的填充系数, 数值孔径, 入射波长和能量分布, 光学纤维的直径, 长度和几何结构的均匀性等。光纤面板透过率(T)以透过光纤面板的光通量(I)和入射到光纤面板的光通量(I_0)的比值来表示:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

为满足实际应用的需要，光纤面板要分别用漫射光谱透过率、用漫射光和准直光测积分透过率。国内已有一些测量光纤面板透过率的实验装置，但大多只能进行单项测试，且为手工操作，效率低。TGL—I型测试仪是一台较为完整的、多功能透过率测试仪。用它可分步测量光纤面板的漫射光谱透过率，白光或特定波长的准直光透过率，和白光漫射光透过率。并采用了自动检测技术和微处理机技术。仪器结构示意图如图1所示：

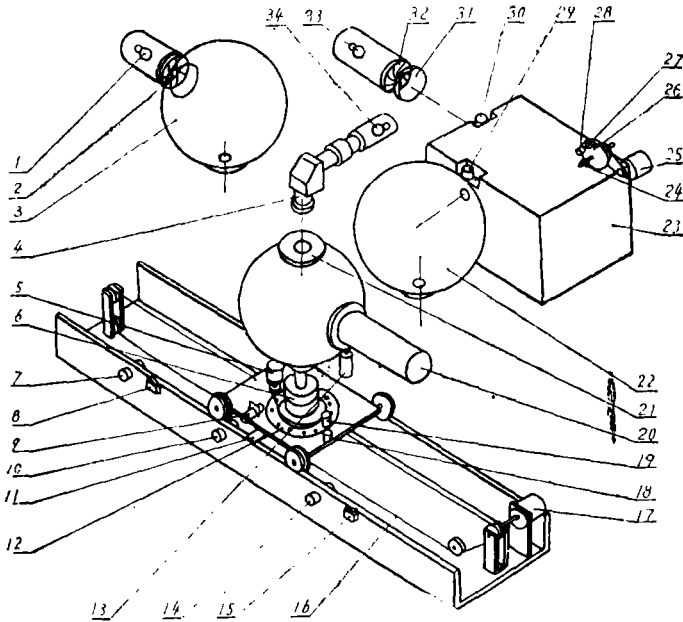


图1 光纤面板透过率测试仪结构示意图

- | | | |
|-------------|--------------|--------------|
| 1—漫射光源 | 2—可变光阑 | 3—积分球Ⅱ |
| 4—准直光筒 | 5—升降步进电机 | 6—升降机构 |
| 7—漫射定位光源 | 8—左限位开关 | 9—定位接收器 |
| 10—准直定位光源 | 11—限位拨块 | 12—升降计数盘 |
| 13—电磁开关 | 14—光谱定位光源 | 15—右限位开关 |
| 16—传动钢丝 | 17—横向步进电机 | 18—升降计数光源 |
| 19—升降计数接收器 | 20—光电倍增管 | 21—积分球Ⅲ |
| 22—积分球Ⅰ | 23—单色仪 | 24—鼓轮轴 |
| 25—光谱控制步进电机 | 26—光谱定位盘 | 27—光谱定位光源 |
| 28—光谱定位接收器 | 29—单色仪出口控制手轮 | 30—单色仪入口控制手轮 |
| 31—单色仪光源物镜 | 32—可变光栏 | 33—单色仪光源 |
| 34—准直光光源 | | |

仪器测试原理如图2所示

该装置设有三套独立的光学系统，可分别提供测试所需的漫射单色光、积分准直光和积分漫射光。待测光纤面板置于积分球Ⅲ的承物台上，一个可移动的积分球Ⅲ—光电倍增管检测系统，根据需要移至积分球Ⅰ(22)，或积分球Ⅱ(3)，或准直光管(4)下，分别测量漫射光谱透过率，漫射透过率或准直透过率。最后由电路系统进行控制、放大、显示、处理及输出。

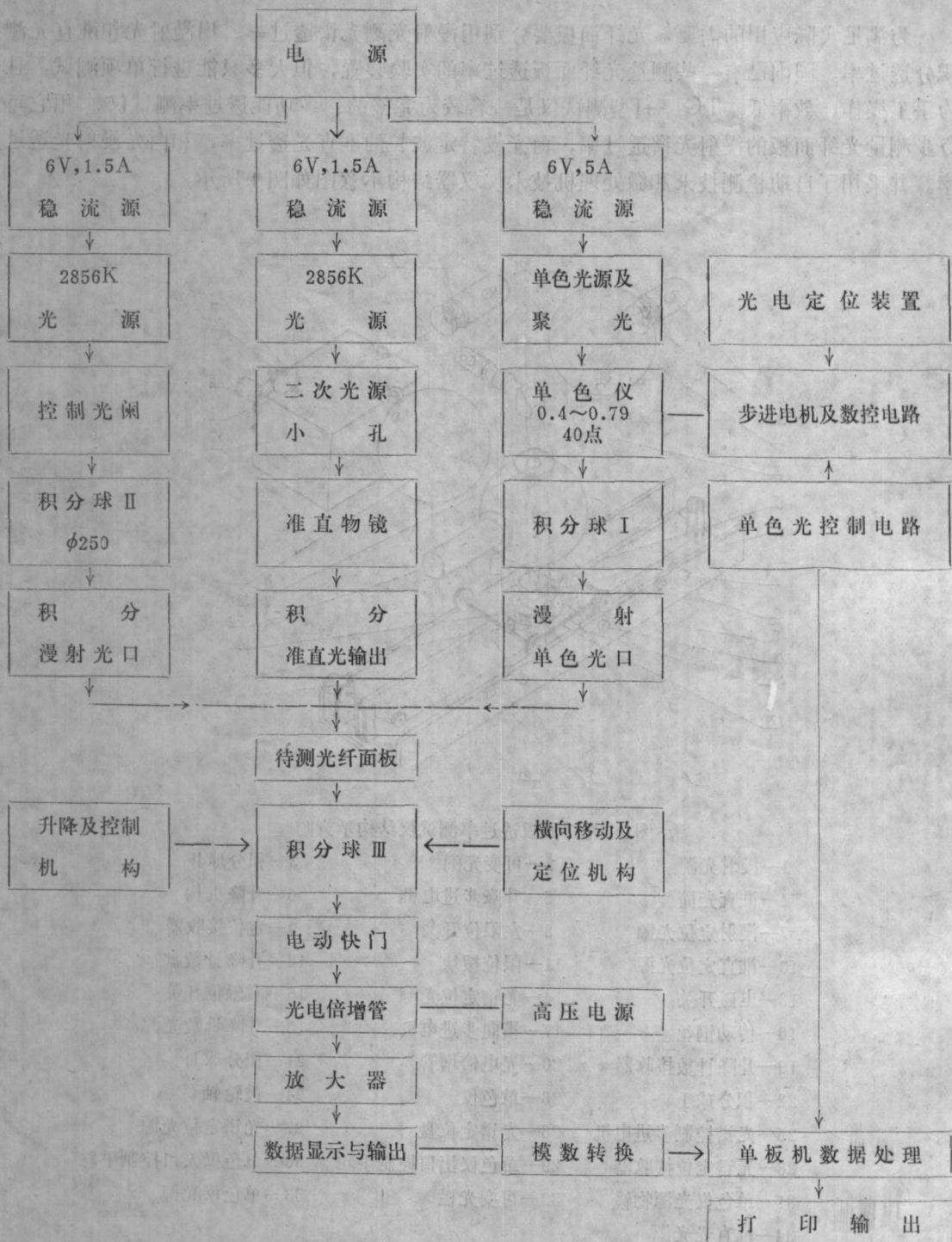


图2 TGL-1光纤面板透过率测试仪框图

TGL— I 型仪的性能和特点:

(一) 一机多用, 可以测试光纤面板的三项透过率。

1. 漫射光谱透过率。其光谱范围为 $0.4\sim 0.8\mu\text{m}$, 共40个测点, 测量重复性误差不超过 $\pm 4\%$ 。

2. 积分光准直透过率。积分光源色温为 2856K 。测量重复性误差不超过 $\pm 3\%$ 。加上特定波长的滤光片可进行特定波长准直光透过率的测量。

3. 积分光漫射透过率。积分光源色温为 2856K , 测量重复性误差不超过 $\pm 3\%$ 。

本仪器还可用于测试其它光学元件(如各种滤色片、镜片)的透过率。

(二) 采用了光电传感, 数字电路步进电机来控制完成各项预定的机械运动。其中包括单色仪自动分光控制, 三工位的移动和定位, 升降控制等。有关参量全部数显。采用单板机进行数据处理、打印输出。从而大大简化了操作, 提高了功效。

(三) 为保证仪器的高稳定度, 对光源电源、接收器电源和线性放大器等部门进行了专门的设计。

三、光纤面板数值孔径的测量

光纤面板是由许多细小的相互平行的光学纤维制成, 每根光学纤维又是由高折射率的玻璃作内芯、低折射率的玻璃作包皮制成。光纤面板就是依靠入射光线在各单根光学纤维的芯皮界面发生全反射的原理, 将光或图像从一个端面传至纤维的另一端面。如图3所示。光学纤维传光的能力用数值孔径 NA

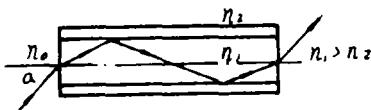


图3 光纤传光原理

表示。

表示。

$$NA = n_0 \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2)$$

式中: n_0 —入射光所在媒质的折射率, 一般为空气。 $n_0 = 1$ 。

α —光线在纤维内发生全反射时的临界入射角;

n_1 —内芯玻璃折射率;

n_2 —包皮玻璃折射率。

NA 越大, 就表示光纤面板的集光能力越大。当芯、皮玻璃的折射率已知时, 可根据公式(2)计算 NA 的值, 但由于材料和工艺等方面的原因, 实际测量所得的数值孔径要比按(2)式计算的理论值小。

实际测量光纤面板的数值孔径时, 是按国际上的通常规定: 即用漫射光照射光纤面板, 测量其各个角度的透过率, 当透过率下降到轴向最大透过率值的50%时所对应的角度、被规定为该光纤面板的数值孔径角。其正弦值为数值孔径。仪器的基本原理为下图所示;

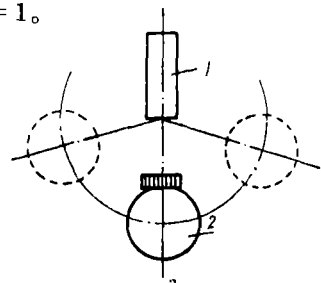


图4a 数值孔径测试仪基本原理图

- 1—光电接收器
- 2—光源及光纤面板
- 3—无光纤板时相对光能分布
- 4—有光纤板时相对光能分布

目前国内虽有测量光纤面板数值孔径的测量装置，但操作繁琐，测量数据需手工处理，效率低，重复性差，精度不易得到保证。

SKC—I型光纤面板数值孔径测试仪，克服了上述缺点。仪器框图和结构示意图分别如图4a, 4b、图5所示。

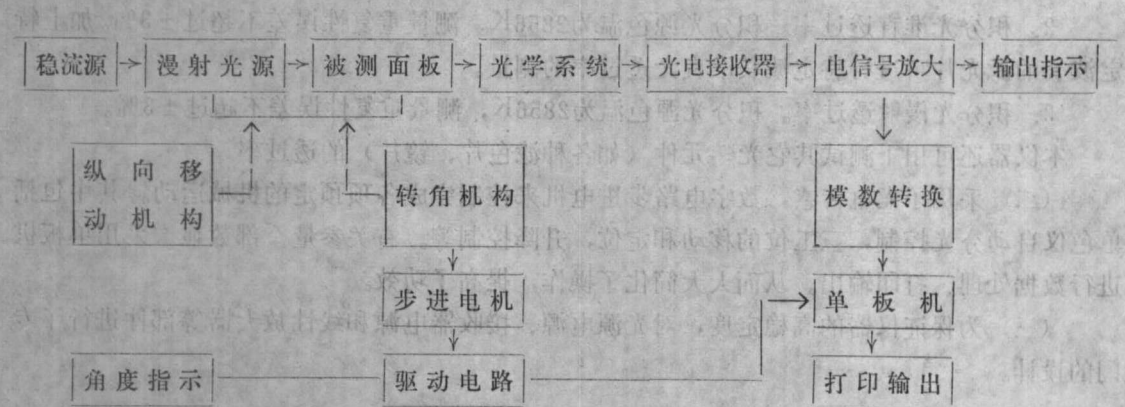


图4b 数值孔径测试仪框图

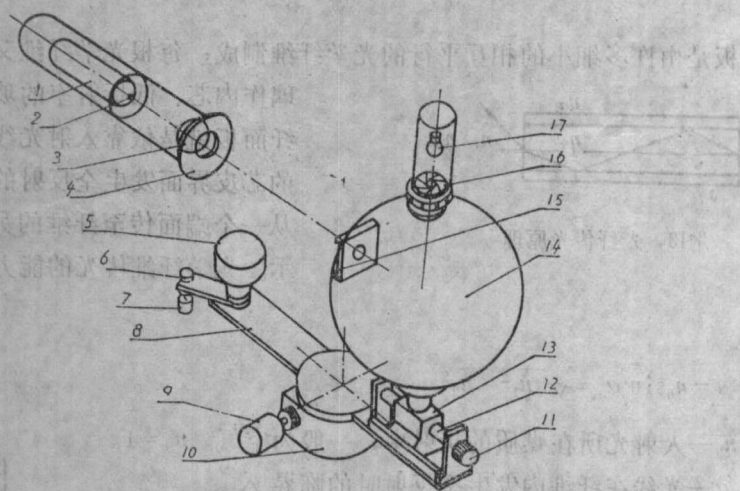


图5 数值孔径测试仪结构示意图

- | | | |
|---------|---------|--------|
| 1—光电倍增管 | 2—小孔光栏 | 3—准直物镜 |
| 4—电磁快门 | 5—配重块 | 6—定位光源 |
| 7—定位接收器 | 8—旋转板 | 9—步进电机 |
| 10—传动箱 | 11—移动手轮 | 12—螺杆 |
| 13—移动块 | 14—积分球 | 15—承物台 |
| 16—可变光栏 | 17—光源 | |

测量分三步进行：

第一步，测量无光纤面板时在各个不同角度下的出射光能。

第二步，测量有光纤面板时不同角度下的出射光能。

第三步，分别用第一、第二步测得的数据计算出在不同角度的透过率，并找出透过率为最大透过率的50%时所对应的角度，即为数值孔径角，其正弦角为数值孔径。

SKC—I型仪器的性能和特点：

1. 采用了光电对零，测角机构驱动采用了数字控制电路。数值孔径角测量范围为 $0^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ，测量间隔为 0.5° ，重复性误差不超过 1° 。
2. 光源色温为2856K。光源电流、光电倍增管高压稳定度好，调节方便。
3. 各测量参量全部数显。打印机自动打印测试结果。还可用x—y记录仪绘出透过率曲线。

四、光纤面板分辨率的测量

分辨率是评价光纤面板的传像质量的一个重要标志。分辨率愈高，传递图像的性能就愈好，被传递图像就愈清晰。分辨率是以每毫米长度内所能分辨的线对数来表示(对线毫/米)。光纤面板的分辨率取决于光学纤维的间距，排列形式，规则程度和实际工艺操作的好坏。

GFC—I型光纤面板分辨率测试仪在参考了国内已有仪器的基础上作了许多改进。如图6所示。光源发出的光，经过积分球形成漫射光，均匀地照明分辨率板上的图案，制作在分辨率板上的图案位于其上方，并与光纤面板的入射端面紧密接触，该图案经光纤面板成像于出射端面，通过显微镜进行观察。如果分辨率板上某一组图案各个方向的条纹刚刚能分辨清楚，则这一组就表示了被测面板的分辨率。然后按条纹组数号查表，即可得被测光纤面板的分辨率(每毫米分辨的线对数)。或通过照相系统拍下分辨率板在光纤面板出射端面上的图像。分辨率板和被测光纤面板可随同积分球作前后、左右和绕垂轴旋转，以测量不同位置 and 不同方向下的分辨率。

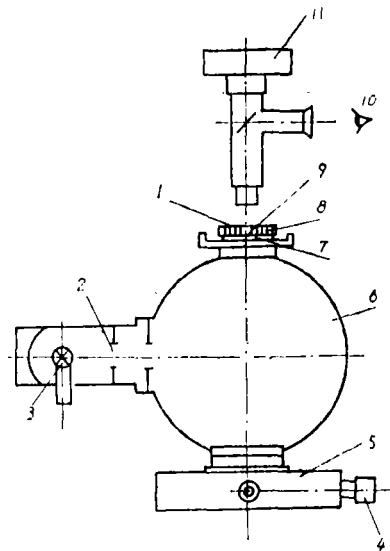


图6 光纤板分辨率测试仪原理图

- | | | | |
|--------|---------|--------|---------|
| 1—出射端面 | 4—手轮 | 7—分辨率板 | 10—人眼 |
| 2—可变光栏 | 5—积分球支座 | 8—光纤板 | 11—照相系统 |
| 3—光源 | 6—积分球 | 9—入射端面 | |

GFC—I型仪的性能和特点

1. 主要用于测量光纤面板分辨率。还可对光纤面板的微观结构、畸变、错位、亮暗点等进行目视检查或照相。
2. 采用接触式漫射光测量光纤面板分辨率，符合光纤面板大多数的实际使用情况。共设计了两块分辨率板。分别为20~50对线/毫米和50~120对线/毫米。刻线上镀有铬层，从而大大提高了耐磨性。另在高分辨率板上刻有16组分辨率相同的图案。因而可在分辨率板与被测件不相对移动的情况下测量不同部位的分辨率，从而保证两者紧贴而又尽量减少相对移动所产生的相互磨擦。
3. 设计了亮度足够大的漫射光源，并有可变光栏调节入射光通量，以适应正常观察和照相。
4. 设计的积分球承座，可使积分球连同分辨率板和被测件做前后、左右移动和垂轴转动，以适应测试需要。

五、光纤面板真空气密性检验方法

对用于夜视仪等电真空器件的光纤面板，应满足真空气密性要求。每片光纤面板一般需进行两次气密性检验，一次在精加工前，一次在精加工（或开出凹面）之后，以便将不符合气密性要求的光纤面板及时加以剔除。

我院对光纤面板真空气密性检验工作开展较早，根据多年来的经验，参考了国外有关资料和国内情况，进行了光纤面板气密性检验方法标准的制订工作，并于1985年12月审议通过。1986年5月批准为国家军用标准：

《GJB144—86光学纤维面板真空气密性检验方法》，并于1987年1月1日起实施。

本标准为我国光学纤维面板测试技术方面的第一个国家标准，达到国外先进标准水平。

光学纤维面板真空气密性系指光纤面板密封在具有一定真空度系统的端面上，在其整个有效面积内的有效空气漏率。漏率的单位用 $\text{torr}\cdot\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ 。所用仪器为氦质谱检漏仪。我院采用国产ZLS—23型氦质谱检漏仪来测量。该仪器的灵敏度为 $1\times 10^{-12}\text{torr}\cdot\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ 。反应时间不大于3秒钟，用校准漏孔来校正，其漏率（空气漏率）和出厂日期标注在牌上。

检验按下列程序进行：

1. 做标记；

2. 清洗；

(1) 用洗涤液浸泡并刷洗；

(2) 放入容器内用无水乙醇浸泡，在超声波清洗机内清洗15分钟。以去除油脂和污物。

3. 烘烤按退火程序进行（见图7）。将光纤板放进烘烤炉内。未抛光的光纤板在 $450\pm 5^\circ\text{C}$ 的温度下烘烤1小时。已抛光的光纤板在 $500\pm 5^\circ\text{C}$ 的温度下烘烤1小时。以进一步除去光纤面板表面残留的污物。然后断电自然降温。将它保持在高于室温 20°C 左右的干燥状态下，直到对它们进行检漏为止。

4. 检漏

(1) 检漏时，实验室内的相对湿度应在80%以下。

(2) 按图8所示，把光纤面板用真空封脂密封在测试模具上，并在其上盖上喷氮罩。

(3) 按仪器说明书上的规定进行操作。

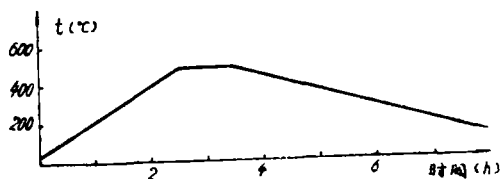


图7 光纤板烘烤程序

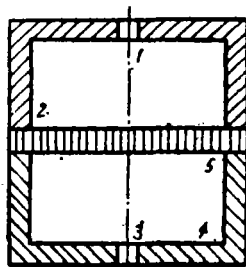


图8 光纤面板检漏装置示意图

1—喷氮孔(接氦气喷嘴) 2—喷氮罩 3—抽气口
(通检漏仪) 4—测试模具 5—被检光纤面板

5. 测试结果计算

根据仪器检漏灵敏度和输出表指针实际摆动的毫伏数，按仪器技术说明书提供的公式，计算光纤面板的空气漏率。如光纤面板漏率小于或等于 $1\times 10^{-10}\text{torr}\cdot\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ ，则为合格品。

ZLS—23型检漏仪按下式计算漏率:

$$\text{被测光纤面板漏率} = \frac{\text{被测面板漏隙产生的讯号 (mV)}}{\text{校准漏孔产生的讯号 (mV)}} \times \text{校准漏孔的漏率}$$

参 考 文 献

[1] 纤维光学, 国防工业出版社, 1974年

Development on Testing Technique for Optical Fiber Faceplates

Liu Shian Zhang Furong Liu Shuci Li Baoqin

Abstract

In this paper, constructions specifications and test procedures of TGL-1 Transmittivity Meter, SKC-1 Numerical Aperture Meter and GFC-1 Resolution Meter for optical fiber faceplate are described. The research about the determining method of vacuum tightness for optical fiber face plate si also described.