

光纤陶瓷插芯同心度的测试技术

王建财, 文敏, 宋杰, 陈程

(上海电缆研究所, 上海 200093)

【摘要】 光纤陶瓷插芯是光纤连接器的核心部件,其同心度直接影响光纤连接器的插入损耗和回波损耗,进而影响光纤通信系统的传输性能。在出厂前,每一枚陶瓷插芯的同心度必须经过严格的测试。阐述目前插芯生产厂家测量光纤插芯同心度的检测方法,并提出采用基于数字图像处理方法对光纤陶瓷插芯的同心度进行测试,实验表明该方法具有较好的测试准确性和重复性。

【关键词】 陶瓷插芯;同心度;数字图像处理

【中图分类号】 TN253 **【文献标识码】** B **【文章编号】** 1006-1908(2013)02-0004-03

The Concentricity Test Technology for Fiber Ceramic Ferrules

WANG Jian-cai, WEN Min, SONG Jie, CHEN Cheng

(Shanghai Electric Cable Research Institute, Shanghai 200093, China)

Abstract: Fiber ceramic ferrules are the core parts of fiber optic connectors. The insertion loss and return loss of connectors are directly impacted by the concentricity of the ferrules. Therefore, the transmission performance of fiber communication system will be influenced. Before shipping the concentricity of every ferrule is tested critically in factory. The current used test methods for the concentricity of ferrules in various ferrule manufacturers are elaborated, and a test method of concentricity based on digital image process is proposed. Experiment results show that it has better test accuracy and repeatability.

Key words: ceramic ferrules; concentricity; digital image process

1 陶瓷插芯同心度

光纤连接器是光纤通信系统中不可或缺的光无源器件,随着光纤到户的推行,光纤连接器的需求量日益增大。光纤陶瓷插芯是光纤连接器的核心部件,其各项性能指标(包括内径、圆度、外径、端面光洁度和同心度等)都将直接或间接地影响光纤连接器的插入损耗和回波损耗,进而影响光纤通信系统的传输性能。在这些性能指标中尤以插芯同心度更为重要,在陶瓷插芯出厂前必须对该项指标进行严格测试。插芯同心度是指插芯轴心和内孔轴心之间的偏移,按照插芯生产的技术要求,单模插芯的同心度应不大于 $1.4 \mu\text{m}$,多模插芯的同心度应不大于

$4.0 \mu\text{m}$ 。陶瓷插芯的同心度越小,在光纤对接时光纤连接器的插入损耗越小,回波损耗越大。在实际加工过程中,陶瓷插芯的同心度会受到多种因素影响,使加工出来的陶瓷插芯的同心度产生较大偏差。这些影响因素包括毛坯内孔准直度,加工设备的运行状态、加工误差,操作工人的技术水平、主观因素等。

2 插芯同心度的测试技术

光纤陶瓷插芯同心度的测量技术主要有外表面基准法和内孔基准法两种^[1]。插芯外表面基准法是指将被测插芯内孔清洗干净,确保内孔无黏着、无堵塞,放在V型槽或者其它定中机械装置上,对内孔进行照明,旋转插芯至少 180° ,记录内孔中心的最大偏移量 C ,即为插芯的同心度,如图1所示,图中 O_1 为旋转前内孔中心, O_2 为旋转 180° 时内孔的中心。插芯内孔基准法是指将两个定位针尖分别顶在插芯首尾两端,用一个高灵敏探针(位移传感器)与

【收稿日期】 2012-09-18

【作者简介】 王建财(1978-),男,上海人,上海电缆研究所工程师。

【作者地址】 上海市杨浦区军工路1000号新大楼201号,上海电缆研究所,200093

插芯的外表面相接触来记录插芯旋转时,外圆表面的位移量,旋转插芯 360°,读取位移传感器的最大位移和最小位移,同心度 $C = (C_1 - C_2) / 2$,如图 2 所示。

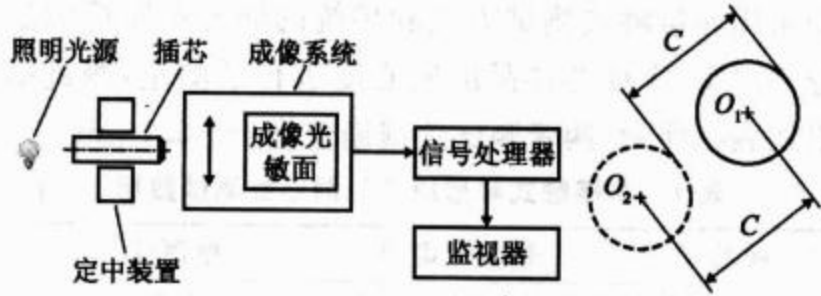


图1 插芯同心度的外表面基准法测量

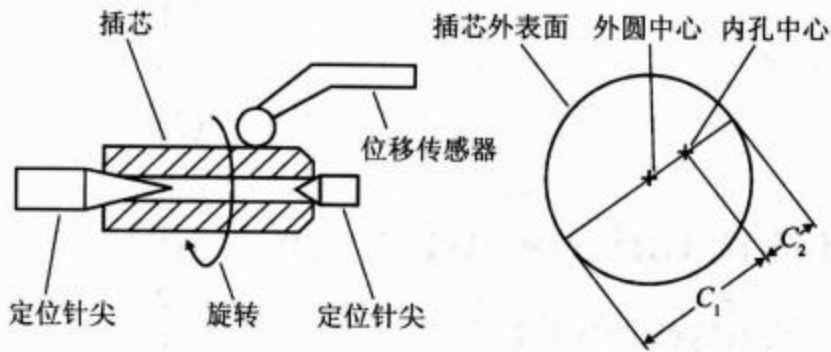


图2 插芯同心度的内孔基准法测量

在外表面基准法中,目前多采用非接触式测试技术测量插芯同心度,其是指将插芯清洗干净,放入V型槽,如图3所示,根据上述外表面基准法的测试技术,采用背光照明方法,对插芯内孔进行照明(由于内孔尺寸较小,应采用波长较短的蓝光或者全谱的白光进行照明);插芯内孔图像通过放大透镜系统,在 CCD 等光敏面上成像;内孔图像经过数字图像采集卡输入到 PC 或者监视器(图像处理器)中,由内置的图像处理算法,计算出中心的坐标;旋转插芯,可以得到一系列的内孔中心坐标,计算这些坐标的最大间距,即可得到插芯同心度。测试软件自动从数字成像系统采集插芯内孔图像,根据数字图像处理算法对其进行处理^[2-4],如图4所示,并按照最小二乘法原理计算插芯内孔圆参数。

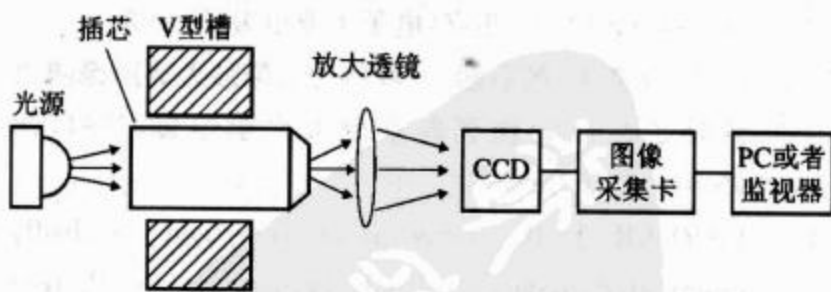


图3 插芯同心度的非接触式测量

测试软件中按照最小二乘法原理计算插芯内孔圆参数的推导过程如下:

标准圆方程为:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (1)$$

式中 (x_0, y_0) 为标准圆圆心坐标, (x, y) 为标准圆圆

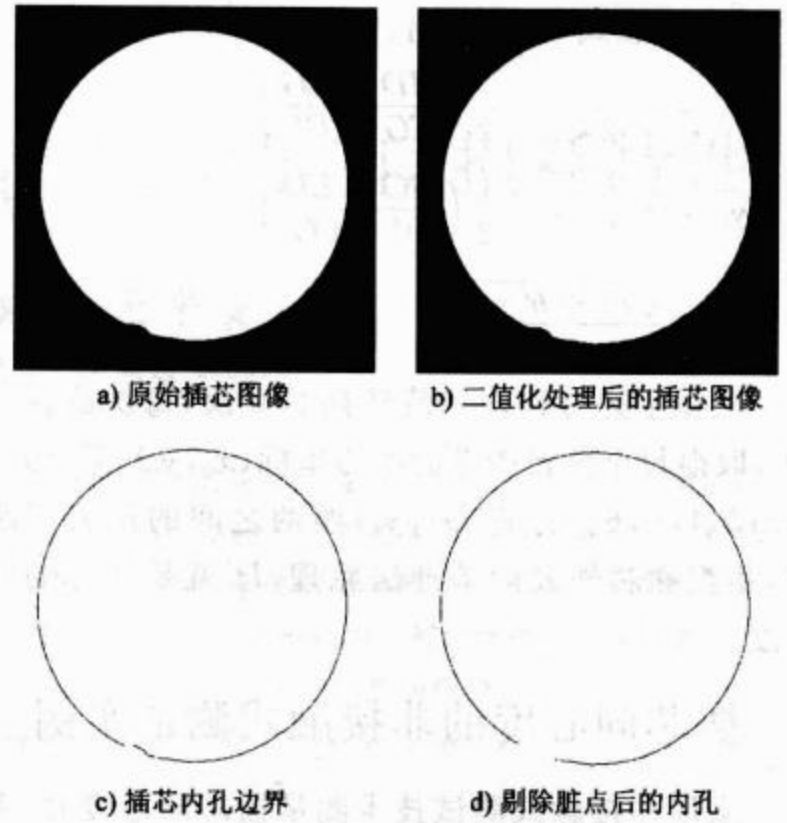


图4 插芯内孔图像预处理过程

周上任一点的坐标, R 为标准圆的半径。展开式(1)得:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + ax + by + c = 0 \\ a = -2x_0 \\ b = -2y_0 \\ c = x_0^2 + y_0^2 - R^2 \end{cases} \quad (2)$$

假设内孔边界坐标点集 $(x_i, y_i), i \in (1, 2, 3, \dots, N)$, 则各点到圆心距离 d_i 为:

$$d_i^2 = (x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 \quad (3)$$

令 $\delta_i = d_i^2 - R^2 = x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c$,

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^N \delta_i^2 = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)^2,$$

$(a, b, c) \in R$, 函数 $S(a, b, c)$ 存在一个最小值, 则参数 a, b, c 计算结果为:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)x_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)y_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial c} = \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

解方程组(4)可得:

$$\begin{cases} Ca + Db + E = 0 \\ Da + Gb + H = 0 \\ c = -\frac{\sum (x_i^2 + y_i^2) + a \sum x_i + b \sum y_i}{N} \end{cases} \quad (5)$$

式中 C, D, E, G, H 为系数。解式(5)得:

$$\begin{cases} a = \frac{HD - EG}{CG - D^2} \\ b = \frac{HC - ED}{D^2 - CG} \end{cases} \quad (6)$$

联立式(2)和式(6)可解出:

$$\begin{cases} x_0 = -\frac{a}{2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{HD - EG}{CG - D^2} \right) \\ y_0 = -\frac{b}{2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{HC - ED}{D^2 - CG} \right) \\ R = \frac{\sqrt{a^2 + b^2 - 4c}}{2} \end{cases} \quad (7)$$

根据上述过程均匀旋转插芯6次,每次旋转约60°,取得每个位置图像的中心坐标(x_i, y_i),其中i=1,2,3,4,5,6。计算(x_i, y_i)两两之间的最大间距D',根据插芯外表面基准法原理,D'就是插芯的同心度。

3 插芯同心度的非接触式测量实例

采用非接触式测试技术测量插芯同心度时,系统中 CCD 选用了德国 Basler 公司生产的 scil390-17fm,分辨率为 1 390 × 1 024,靶面尺寸为 6.4 mm × 4.8 mm,像素大小为 4.65 μm × 4.65 μm,传输帧速为 17 帧/s;选用了放大倍数 20X 的透镜;系统检测精度为 4.65/20=0.233 μm;数字图像经过亚像素处理算法,系统的检测精度可以达到小于 0.1 μm;测试系统的测试主界面如图 5 所示。影响非接触式全自动同心度测试设备的测试准确度因素有很多,包括插芯内孔清洁度、定中装置清洁状况、定中装置的磨损度、插芯旋转装置旋转的可靠性等,在测试过程中必须对上述因素进行严格控制。

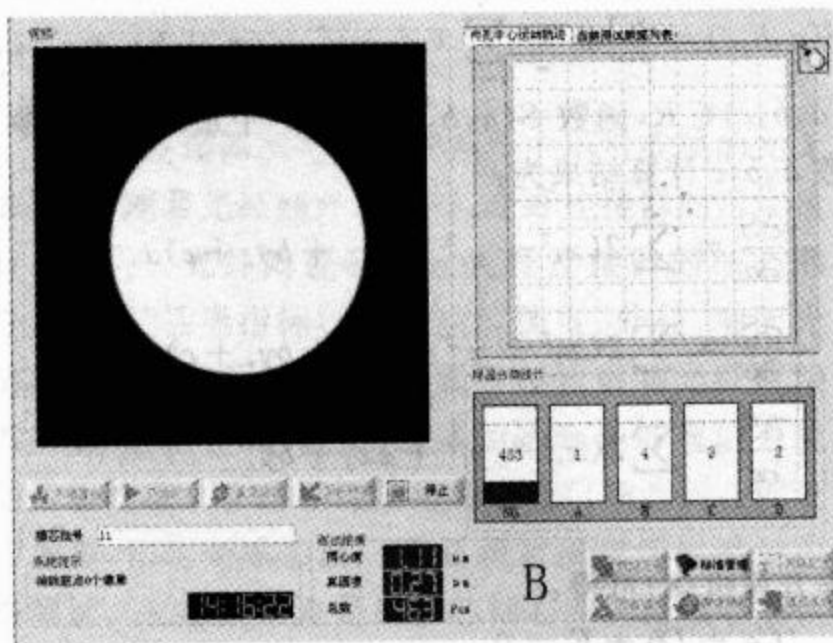


图 5 插芯同心度非接触式测试软件主界面

根据光纤活动连接器插针体技术要求规定^[5],插芯内孔直径为 0.125 mm 时,单模插芯同心度应不大于 1.4 μm,多模插芯同心度应不大于 4.0 μm。

我们对同一枚插芯的同心度连续测量了 10 次,测试数据分别为 1.11 μm, 1.13 μm, 1.12 μm, 1.08 μm, 1.12 μm, 1.17 μm, 1.10 μm, 1.12 μm, 1.19 μm, 1.07 μm, 平均值为 1.12 μm,重复性误差为 0.036 μm。我们采用非接触式测试方法和传统的插芯壁厚检测法分别对 10 个插芯样品的同心度进行了测量,测量结果如表 1 所示,两者测试数据偏差优于 ±0.1 μm。

表 1 非接触式和壁厚法的同心度测试数据 μm

样品号	非接触式	壁厚法
1	0.37	0.3
2	0.44	0.5
3	0.59	0.7
4	0.32	0.2
5	0.48	0.6
6	1.09	1.1
7	1.18	1.1
8	1.08	1.2
9	0.64	0.7
10	6.48	6.4

4 结束语

本文分别介绍了采用外表面基准法和内孔基准法测试插芯的同心度,并以插芯外表面基准法为基础,阐述了非接触式光学成像同心度测试法。通过分析单枚插芯重复测试和与不同检测方法对比,发现基于图像处理的非接触式同心度检测技术具有较好的测试重复性和准确性。

[参 考 文 献]

[1] IEC. IEC 61300-3-25—1997 Examinations and measurements — concentricity of the ferrules and ferrules with fiber installed[S]. IEC:[s. n.],1997.

[2] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing [M]. 北京:电子工业出版社,2008.

[3] 李瑛,夏良正,顾宗恣. 一种新的二维最大熵图像阈值分割方法[J]. 南京航空航天大学学报,1994,26(S1):151-157.

[4] PARKER J R. Gray level threshold in badly illuminated images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(8): 813-819.

[5] 信息产业部. YD/T 1198—2002 光纤活动连接器插针体技术要求[S]. 北京:人民邮电出版社,2002.