

## GF-18型6×6多模光纤星形耦合器的研制

赵仲刚\*

TN/622  
TN/25

⑥  
36-41

A

**摘要** 本文介绍了已通过设计定型鉴定的GF-18型6×6多模光纤星形耦合器。阐述了该种采用熔融拉锥技术开发的耦合器的设计原理、工艺技术、技术指标、光学性能测试及环境试验。

**关键词** 熔融拉锥 多模光纤 星形耦合器 纤维光学

**Abstract** This paper introduces Type GF-18 6×6 multimode optical fiber star coupler which has passed through design approval, and describes design principle, process technology, specifications, optical performance testing and environmental testing. This new coupler was produced with tapered fusion technique.

**Key Words** Tapered fusion Multimode fiber optic Star coupler

### 1 引言

光纤通信、微波和卫星通信已成为现代信息传输的三大支柱。光纤星形耦合器在局域网(LAN)、光纤用户网(FTH)和综合业务数字网(ISDN)等光纤通信系统中作为重要的光纤无源器件已获得广泛的应用。以LAN为例,光纤星形耦合器能连接计算机、数据终端、打印机、文字处理机、传感器和电话图像等广义的数据通信设备,使系统既具有以事务为主体的办公自动化(OA)的功能,又具有以控制监视为主体的工厂自动化(FA)的作用。所有的使用场合都要求光纤星形耦合器具有插入损耗小、各路输出光功率分布均匀、隔离度大以及能承受严酷的使用环境。当然,体积小、重量轻也是使用者所关注的内容。多模光纤星形耦合器特别适用于LAN系统,小到独立运行着的飞机、坦克、汽车、潜艇,大到直径25km范围内的智能网络。国内外正在热火朝天地建

造信息高速公路,力求数据共享,更刺激着光纤星形耦合器的发展,其潜在的用户将会是很大的。

GF-18型6×6多模光纤星形耦合器已应用在卫星地面站的监控系统中。其主要技术指标为:最大插入损耗 $\leq 10.5\text{dB}$ ;均匀性 $\leq 2.0\text{dB}$ ;隔离度 $\geq 15\text{dB}$ ;工作温度在 $-40\text{℃} \sim +80\text{℃}$ ;工作波长 $1.3\mu\text{m}$ ;熔融拉锥结构,重量 $\leq 1\text{G}$ ,体积为 $7 \times 14 \times 80(\text{mm})^3$ ;尾纤采用 $50/125\mu\text{m}$ 普通光纤或光缆;能承受以《纤维光学无源耦合器总规范》为蓝本的军企标所有环境考核指标。专家组的鉴定认为:该光纤星形耦合器的性能已达到或优于国外90年代同期同类产品水平。

### 2 原理简介

制作多端口光纤星形耦合器,以熔融拉锥工艺最为合适。该工艺具有较低的插入损耗,较高的隔离度,有较好的工艺一致性,较低的经费投入,在器件的稳定性、可靠性方面均占优势。

光纤星形耦合器的制作技术难度随着端

\* 电子工业部第23研究所,上海市逸仙路25号(200437)

收稿日期:1995-02-28

口数的增加而急剧增加。但是，不论端口数有多少，其耦合原理则可用最为简单的2×2四端口双锥体耦合器加以描述。

将两根平行的裸光纤紧密地靠在一起，在高温火焰的作用下，使其中部按特定结构熔融成新的波导区域。经轴向拉伸，便形成了如图1所示的四端口双锥体光纤耦合器。

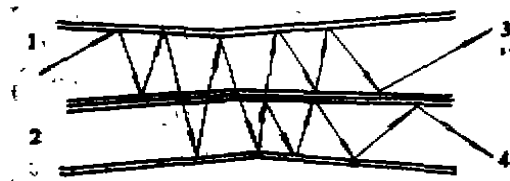


图1 四端口双锥体光纤耦合器光传输原理

当光在纤芯中传输到逐渐缩小的锥体时，光纤纤芯中的模式数量即随着纤芯横截面的减小而成正比地减少。正由于这种模式数量的减少，纤芯中的高次模被迫越出纤芯而进入包层，并受到包层外表面的束缚，成为在包层内传输的包层模。也就是说，在缩小的锥体内传输的高次模，由于入射角的变化破坏了全反射条件，也就相继越出纤芯和包层界面而进入光纤的包层，成为在光纤包层内传输的包层模，而在扩大的锥体部分，由于和上述相反的作用，包层模又返回到纤芯中，而且几乎是平均地分配在两根光纤的纤芯中。因此，在扩大的纤芯锥体部分，这种包层模又耦合到每一根光纤的纤芯中去，从而完成耦合的全过程。由此可以推断，锥体的锥度愈大，包层模就愈多，耦合效果也就愈强。当然，总有一小部分低次模不能越出纤芯而仍留在原光纤中传输，且随着光纤熔融区腰部的变细，导致更多的光波辐射出包层，插入损耗随之增加。

### 3 工 艺

GF-18型6×6多模光纤星形耦合器是

由六根50/125μm的长为2m（或3m）的普通光纤（或单芯光缆）均匀地扭绞数圈，然后在特定的高温火焰下边加温边拉伸，从而形成双锥体结构，如图2所示。其工艺流程如图3所示，下面按方框图简要介绍工艺流程。

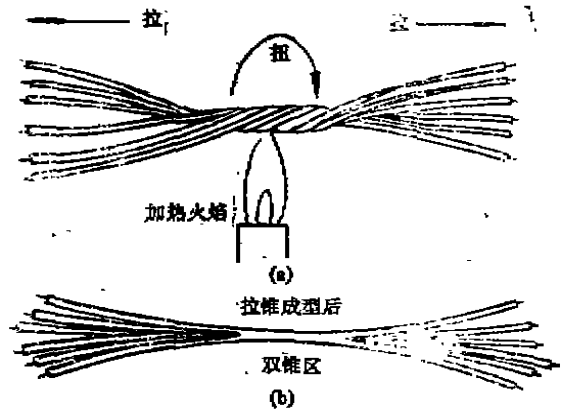


图2 熔融拉锥型光纤星形耦合器制作工艺  
(a) 正在拉制中  
(b) 纤细光滑的双锥体

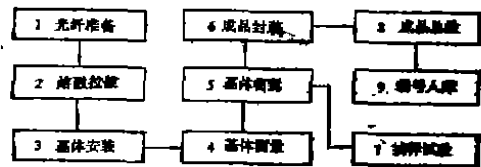


图3 GF-18型6×6多模光纤星形耦合器工艺流程方框图

#### 3.1 光纤准备

用溶剂彻底清除光纤被覆层，残留在光纤包层上的杂质或刮伤的光纤包层，在熔融拉锥中均会严重影响锥体的质量。

#### 3.2 熔融拉锥

双锥体的控制是在专门设备上完成的，设备包括加温火焰、光纤束固定、光纤束扭绞和拉伸装置。当然，光源和输出光功率的在线检测仪器是必备的。

熔融温度受到燃气种类、火炬结构及位

置、燃气流量及助燃气体多少的综合影响。光纤束的扭绞转速及圈数由两个光纤束夹持装置的长度而定。光纤束夹具的运动轨迹、夹持力的大小、每根光纤夹持松紧度以及火炬退出熔融区而引起的双锥体的微弯都会影响光纤耦合器的均匀性。

### 3.3 基体安装

如图2(b)所示的纤细光滑的双锥体本身就是一只光纤星形耦合器。其插入损耗、均匀性和隔离度等光学性能均能用光功率计进行在线测量并计算。为保证符合技术指标的又十分脆弱的双锥体不断裂,必须把事先设计好的与光纤的线膨胀系数相近的材料制成的基体用特定设计的升降台、特选的胶合剂,把锥体和基体胶合在预定的位置,操作不当将使插入损耗急剧增加、甚至使锥体断裂报废。

### 3.4 基体密封

基体密封的目的是改善、缓冲周围环境对光纤星形耦合器的影响。外壳尺寸为 $80 \times 14 \times 7\text{mm}$ 的矩形体(今后完全可做成 $80 \times 7 \times 7\text{mm}$ 矩形或截面为 $\phi 6$ 的圆柱体)。通常情况下的填充料为硅橡胶之类,能有效地防潮、防震,并能改善工作温度对产品的冲击。

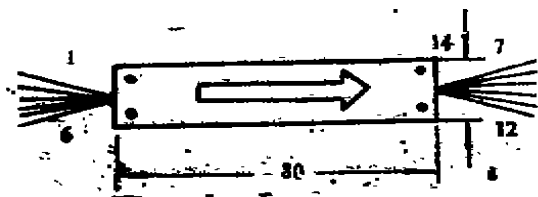


图4 GF-18型 $6 \times 6$ 光纤星形耦合器外形

### 3.5 成品总检

每个成品均要进行军企标规定条款考核,例如外形尺寸、重量、光学性能(插入损耗、均匀性、隔离度)和环境性能(高低温度、湿度、冲击、振动、温度寿命、浸渍、光纤动态强度、弯曲)等等。试验证明,本

产品均能顺利经受恶劣的环境考验。

## 4 光学性能测定

### 4.1 最大插入损耗的测量

按《纤维光学无源耦合器总规范》要求,利用截断法进行测量,其方框图如图5所示。

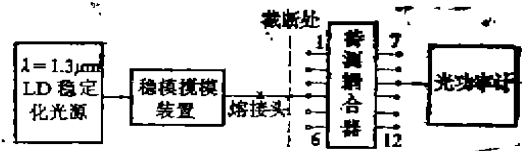


图5 利用截断法测量耦合器的最大插入损耗方框图

用 $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ 的LD稳定化光源(稳定性优于 $0.05\text{dB}/15\text{min}$ ),并采用稳模搅模装置使模式稳定,耦合器样本的尾纤用光纤熔接机熔接,输出端口(例如7~12)分别接入DGZ-1型多路光功率自动测试仪,这样,从1~6的任一路输入端口有光功率输入(例如 $P_{in1}$ ),就有六个光功率输出值(例如 $P_{out6} \sim P_{out12}$ ),依照上述方法测量,就有36个输出光功率值组成矩阵。依照下式:

$$L_{\max} = -10 \log \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

求插入损耗,最大者为最大插入损耗。

### 4.2 均匀性

根据插入损耗测量得到的 $6 \times 6$ 的矩阵,依照

$$L_g = -10 \log \frac{P_{\text{out max}}}{P_{\text{out min}}}$$

计算出均匀性。式中 $P_{\text{out max}}$ 和 $P_{\text{out min}}$ 分别为矩阵中的光功率的最大值和最小值。最大插入损耗、均匀性测量数据见表1。

### 4.3 隔离度

测量隔离度的方框图如图6所示。原输出端口7~12全浸在甘油匹配液中(甘油:蒸

表 1 No.931130A、No.931217 耦合器产品光学性能实测数据

产品编号 NO.931130A							产品编号 No.931217						
输入光功率: 10.969 ×10 <sup>-3</sup> mW							输入光功率: 11.081×10 <sup>-3</sup> mW						
输出光功率 (×10 <sup>-5</sup> ) mW							输出光功率 (×10 <sup>-5</sup> ) mW						
端口	7	8	9	10	11	12	端口	7	8	9	10	11	12
1	11.93	15.13	12.47	14.12	14.41	13.85	1	13.01	12.67	12.81	14.61	16.14	17.25
2	12.82	13.20	11.78	11.95	11.89	13.70	2	13.43	17.12	16.85	15.46	14.81	12.59
3	14.76	11.76	12.11	13.79	11.69	15.05	3	16.82	12.45	12.54	13.17	15.07	12.97
4	12.60	11.71	12.21	14.34	14.99	12.07	4	13.19	12.73	12.74	16.00	15.55	12.65
5	12.82	12.16	15.26	11.88	14.14	12.65	5	14.46	12.40	12.26	13.14	15.76	12.71
6	13.53	14.29	11.84	15.01	14.21	12.77	6	12.74	17.10	13.46	12.68	12.98	12.31
最大插入损耗 9.72dB(附加损耗1.63dB), 均匀性: 1.14dB, 隔离度: 50.9 dB							最大插入损耗9.66 dB(附加损耗 1.40dB), 均匀性: 1.48 dB, 隔离度: 50.9 dB						

值水=3:1)。以图6所示, 隔离度 $L_{iso}$ 的计算为

$$L_{iso}(1 \rightarrow 6) = -10 \log \frac{P_6}{P_1}$$

显然, 光功率若从端口1输入, 就有端口2~6的五个输出光功率值, 即五个隔离度值, 实测结果(抽取第940906号产品)如表2所示。从表2所列的数据可看出, GF-18型6×6多模光纤

星形耦合器的隔离度均大于 50 dB, 符合 >45dB 的技术指标要求。从表1可看出, 最大

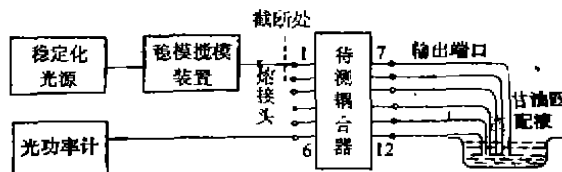


图 6 隔离度测量方框图

表 2 GF-18 型6×6多模光纤星形耦合器隔离度测试结果

测试方法	隔离度: Q/YC20109-94, 纤维光学无源耦合器总规范										
仪器设备	HP8153A 光波万用表										
测试结果 (产品编号 940906)	1~6端口浸入匹配液中, 第7端口作输入光功率端口					7~12端口浸入匹配液中, 第6端口作输入光功率端口					
	端口序号	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
	隔离度(dB)	52.6	51.4	50.3	52.7	52.6	50.8	50.3	50.4	50.6	50.3

插入损耗(或附加损耗)和均匀性测量值明显优于技术指标要求。

## 5 环境试验举例

### 5.1 温度寿命

耦合器试样应在110℃干燥空气中暴露24h。尾纤不一定暴露在试验环境中,用3倍放大镜测量耦合器外观和光学性能(变化值<0.5dB)。

### 5.2 浸渍

浸渍体有盐水(盐水重量5%)和水两种,浸渍温度在20~25℃之间,浸渍时间为20h。在浸渍期结束后取出试样,擦净试样上残留的液体,并在70℃下干燥2h,最大插入损耗变化≤0.5dB,外观检查无锈蚀、不开裂、不膨胀、不弯曲。

### 5.3 光纤动态强度

实验装置如图7所示。对尾纤施加轴向

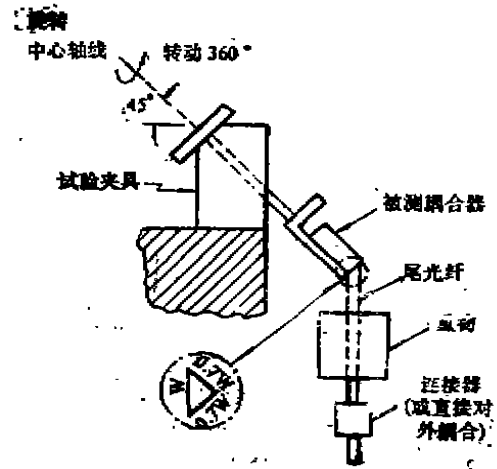


图7 光纤动态强度试验装置原理图

拉伸负荷350 MPa,然后使尾纤在承受尾纤拉伸负荷的条件下缓缓旋转360°,测量试验前后的最大插入损耗变化量应≤0.5dB。

表3 温度性能的比较

工作温度限制	无源耦合器总规范	用户要求	MIL-C-24621/5要求	实际测量达到
低温	-40℃	-40℃	-28℃	-50℃
高温	+85℃	+80℃	+65℃	+125℃

至于常规的冲击振动、湿热、工作温度等具体规定不再赘述。这里只据技术条件规定,对军企标的温度规定、用户的温度要求、美国军标的温度要求和实测结果作一比较,如表3所列。

## 6 与国外同类产品性能的比较

生产同类产品的国外厂商不少,现与较典型的产品性能作比较,如下表4。

附加损耗计算公式为

$$L_s = -10 \log \frac{\sum P_{out}}{P_{in}}$$

式中  $P_{in}$  指某路输入端的光功率值,  $\sum P_{out}$  指在该输入端光功率下的所有输出端的光功率的总和。

由表2可见,各项指标均达到并优于国外同类产品的指标。值得一提的是,GF-18型多模光纤星形耦合器产品重量仅为16g,同样是引人注目的。

## 7 耦合器组件

为了用户使用方便,GF-18型多模光纤星形耦合器配用了50/125μm光纤的FC型光纤连接器和两芯扩束型野战光缆连接

表 4 GF-18型与国外同类产品的性能、外形尺寸比较

厂商名称 技术指标	Amphenol 946-1×2-Y00	AOPR	Aster	Canstar ECS MXN	电子部 第二十三研究所
附加损耗(dB)*	≤2.0	≤2.5	≤3.0	≤2.0	≤2.0*
最大插入损耗(dB)	—	—	—	—	≤10.5
均匀性(dB)	≤3.0	≤3.0	—	—	≤2.0
隔离度(dB)	≤-40	≤-45	—	≤-40	≤-50
外形尺寸(mm)	—	120×20×12	100×19×10	100×12×10	80×14×7

注: \*本产品未有该项技术指标,而是为了与国外的指标比较而建立的。

器,组成了带光纤(光缆)连接器的光纤星形耦合器组件,如图8所示。使用表明,其性能是可靠的,结构是紧凑的。

## 8 结 语

本产品全部使用国产材料和设备,能够小批量生产出符合技术指标、并且能与国外90年代同期同类产品性能相匹敌的产品。所制造星形耦合器组件在使用现场工作正常,由此顺利通过了产品设计定型鉴定。光纤星形耦合器顺应信息高速公路的时代要求,相信会在光纤局域网、城域网和光纤传感系统中愈来愈体现出无源器件的重要作用。

### 主要参考文献

- 1 赵仲刚等. 光纤通信与光纤传感. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1993. 12, 350~362
- 2 赵仲刚等. GF-10型16×16多模光纤星形耦合器工艺探讨. 光纤与电缆, 1989, (6), 32~36
- 3 Q/YC 20109-94 纤维光学无源耦合器总规范
- 4 MIL-C-24621/5 (NAVY), Couplers, passive, fiber optic, 1.31μm, uniformly distributive stand-alone with multi-mode pigtails. 1989. May 16
- 5 Q/YC 20072-94 《GF-18型6×6多模光纤星形耦合器详细规范》
- 6 Fiberoptic Product New<sup>TM</sup>. 1990. Sep: 30

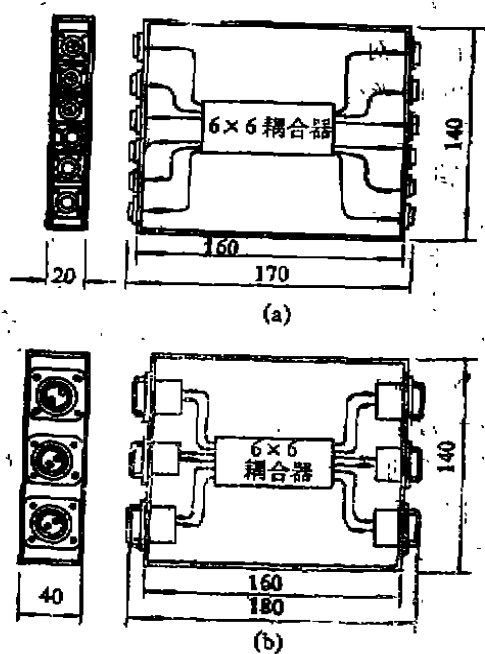


图 8 带光纤连接器的光纤星形耦合器组件

(a) 带FC连接器的组件

(b) 带两芯野战光缆连接器的组件