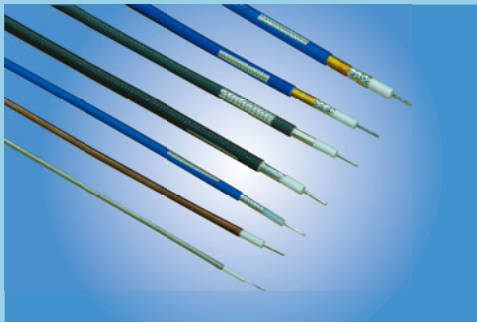


高  
生  
形  
寸  
顶  
电  
缆  
及  
电  
缆  
组  
件



高性能射频电缆及电缆组件  
High Performance Coax Cable & Cable Assemblies

電  
皮  
電  
子

2  
0  
2  
4  
版



# 公司简介 ↘

翼波电子2013年创建于上海，专业生产高端50欧姆微波、毫米波射频电缆、精密连接器及微波组件。公司创始人和技术骨干均来自世界顶级射频微波传输器件类公司，专业化人才队伍具有各种高性能微波电缆的研发能力。

以为合作伙伴创造价值为使命，翼波致力于提供高性能、高质量、专业的技术支持和解决方案，可根据客户需求提供常规互联组件，测试组件，测试探针等差异化、颗粒化产品，应用领域覆盖航天军工、测试测量、商业通讯、半导体测试。

翼波具备质量管理体系认证和装备承制单位认证，严格按照欧美先进的加工工艺和标准组建微波电缆与组件生产车间，以完善的专业化实验室和检测技术为客户提供专业产品。目前，翼波已取得30余项国家技术发明专利，PTFE绕包工艺和垂直螺旋缠绕技术居于全球领先地位。

加强关怀，筑巢引凤。翼波始终秉持成为“一家安居乐业的幸福型企业”的经营理念，以正确的人才发展理念和工作导向为引领，构建有利于人才成长发展的良好制度环境，让员工能劳有所获，心有所居。

简单，信任，坦诚，利他，专注，求真，精进，创新。坚守信念，追求卓越，翼波将以不断完善的“产品品质”和“服务品质”向成为国际一流传输专家而奋斗。

# 我们的优势 创造客户价值

高性能、高质量，可替代进口产品

良好的性价比

极短的交货周期

专业的技术支持和解决方案

客户定制产品

- GB/T19001-2016
- ISO9001:2015质量管理体系认证
- ISO14001-2015环境管理体系证书
- ISO45001-2018职业健康管理体系证书
- GB/T29490-2013 知识产权管理体系认证
- 装备承制单位资格认证
- 三级保密资质证书



- GJB973A
- GJB681A
- GBT17737.1
- GBT17738.1
- IEC 61196-1-111
- IEC 60966-1



# 目录

电缆特点及简介	01
连接器选型	03
测试方法	04
实验检测能力	05
高性能射频电缆	
FSA系列	06
FSB系列	10
FSC系列	15
FSD系列	19
FSE系列	23
FSF系列	27
FSG系列	31
FSH系列	35
PT系列	39
ARMORS铠甲方案	43
射频电缆知识	44
工程应用	
同轴电缆造型指南	46
常用标准索引	52
常用公式	53
电缆绝缘材料特性表	54
波段划分表	54



# 电缆特点及简介



## 产品优势

系列	特点	插损	稳定性	柔软性	温度相位	经济性
FSA	优良的屏蔽性能&耐用性	B	B	C	B	B
FSB	优良的机械相位&机械幅度	A	A	B	A	C
FSE	优良的反复弯曲能力&柔软性	B	A	A	A	C
FSC	良好的屏蔽性能&耐用性、经济型	C	C	C	C	A
FSF	良好的机械相位&机械幅度、经济型	B	B	B	B	A
FSG	良好的反复弯曲能力&柔软性、经济型	C	C	A	B	A
FSD	低损耗半刚电缆，优良的屏蔽性能	A	-	-	B	B
FSH	灵活弯折，替代半刚组件&弯式连接器	B	B	A	B	B
PT	温度稳相低损耗柔性射频电缆	B	C	B	A	B

## 电缆介绍

### FSA系列

高性能低损耗柔性射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
FSA-460	26.5	1.95	76%	>100	4.50	50	-55~+200
FSA-520	26.5	1.55	76%	>100	5.20	60	-55~+200
FSA-630	18	1.02	76%	>100	6.00	90	-55~+200

### FSB系列

高性能低损耗稳相柔性射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
FSB-220	40	4.48	82%	>90	2.20	14	-55~+165
FSB-360	40	2.56	82%	>90	3.60	33	-55~+165
FSB-500	26.5	1.25	83%	>90	5.20	63	-55~+165
FSB-800	18	0.67	83%	>90	7.80	130	-55~+165
FSB-1200	10	0.35	83%	>90	12.00	280	-55~+165

### FSC系列

高性能半柔替代柔性射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
FSC-160	18	5.57	70%	>90	1.60	7	-55~+125
FSC-280	26.5	4.41	70%	>90	2.80	22	-55~+125
FSC-400	26.5	2.81	70%	>90	4.00	49	-55~+125

### FSD系列

高性能低损耗半刚射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
FSD-047A-TP/TM	20	5.70	70%	>165	1.19	6	-60~+150
FSD-086-TP/TM	50	4.15	76%	>165	2.18	19	-60~+250
FSD-120-TP/TM	40	2.35	76%	>165	3.05	35	-60~+250
FSD-141-TP/TM	26.5	1.72	76%	>165	3.58	43	-60~+250

# 电缆特点及简介



## FSE系列 高性能稳相超柔射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
FSE-330-PU	50	4.90	74%	>90	4.00	30	-40~+85
FSE-500-PU	26.5	1.54	80%	>90	5.50	53	-40~+85
FSE-800-PU	18	0.80	83%	>90	8.20	145	-40~+85

## FSF系列 低损耗经济型柔性射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
FSF-280	26.5	3.72	76%	>90	2.60	18	-55~+125
FSF-350	18	1.93	76%	>90	3.50	29	-55~+155
FSF-500	13.5	0.98	76%	>90	5.20	60	-55~+155
FSF-750	13.5	0.64	76%	>90	7.80	110	-55~+155

## FSG系列 经济型超柔射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
FSG-400	18	2.44	76%	>90	4.00	30	-55~+85
FSG-600	13.5	1.42	76%	>90	6.00	63	-55~+85
FSG-850	13.5	0.72	76%	>90	8.20	125	-55~+85

## FSH系列 高强稳相柔性射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
FSH-250	40	4.55	70%	>90	2.50	18	-55~+125
FSH-250-L	40	5.09	74%	>90	2.50	16	-55~+165
FSH-260-L	50	4.81	76%	>90	2.64	17	-55~+165
FSH-360	26.5	2.19	76%	>90	3.61	31	-55~+165

## PT系列 温度稳相低损柔性射频电缆

电缆	频率(GHz)	插损(dB/m)	传播速率	屏蔽性能(dB)	电缆直径(mm)	重量(g/m)	温度范围(°C)
PT-055	70	11.72	80%	>90	1.40	5.6	-55~+165
PT-086	40	4.70	82%	>90	2.20	13	-55~+165
PT-160	40	2.94	82%	>90	4.00	40	-55~+165
PT-200	26.5	1.99	82%	>90	5.00	57	-55~+165

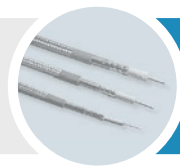
注：以上频率均代表工作频率，插损代表@工作频率(GHz)下插损。

## 连接器选型

	FSA			FSB						FSC			FSD				FSE				FSF				FSG				FSH				PT			
	460	520	630	220	360	500	800	1200	160	280	400	047	086	120	141	330	500	800	280	350	500	750	400	600	850	250	250L	260L	360	055	086	160	200			
1.85mm Male												○																		○						
1.85mm Female												○																								
2.4mm Male					○											●												●								
2.4mm Female					○											●												○								
2.92mm Male					●											●											●	●	○		○	○				
2.92mm Male Right Angle																										○										
2.92mm Female					●											●																				
3.5mm Male	○				○										●																○					
3.5mm Female															●						○															
SMA Male	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●		●	○	●	●	●	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○		
SMA Male Right Angle	○			○	●	●	○	○	○										●	●	●															
SMA Female				○	○		○	○																			●	●			○					
N Male	●	●	●			●	●	○			●						●	○			●	●	●	○	○	○			○							
N Male Right Angle	○					●															●															
N Female	○		○				○														○															
TNC Male	○	○	●				○	○										○			○															
SMP Female																			●																	
SMP Female Right Angle																			●							○	○									
SSMP Female																				○																
SC Male																																				
7/16 Male																																				
页码	详见P6			详见P10						详见P14			详见P18				详见P22				详见P26				详见P30				详见P34				详见P40			

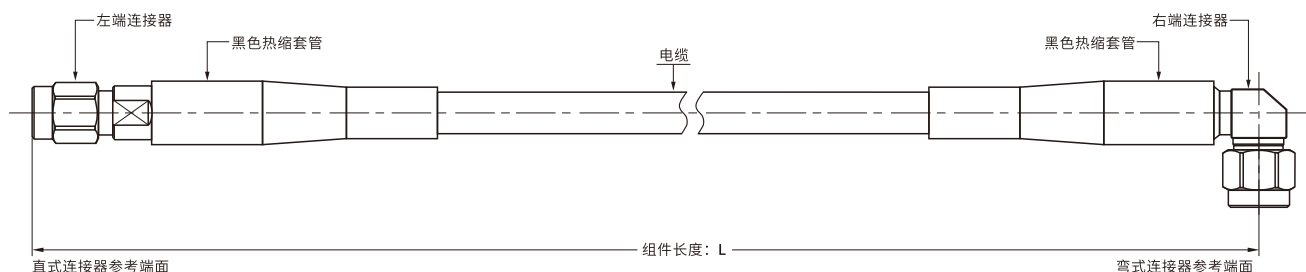
注：连接器电气性能详见系列介绍

# 测试方法



Focusimple

## 组件长度定义



组件长度公差标准(集束组件除外)

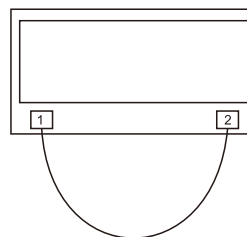
1.  $L \leq 1\text{m}$ , 公差是 $+10/-0$ ;
2.  $L > 1\text{m}$ , 公差是 $+1\%/-0$ ;
3.  $L \leq 1\text{m}$ , 要配相、时延、装铠甲的组件公差:  $+20/-0$ ;
4.  $L > 1\text{m}$ , 要配相、时延、装铠甲的组件公差:  $+2\%/-0$ ;
5. 直式连接器测量从连接器端面开始;
6. 弯式连接器测量从连接器中心线开始。

## 测试前校准

1. 校准前的基本参数设置, 如: 起始/截止频率、扫描点数、扫描时间、带宽、功率等;
2. 进入校准界面后, 选择对应的校准件。根据系统提示将校准件OPEN、SHORT、LOAD旋入所校准的端口;
3. 依次按Measure进行校准, 按Finish键完成校准;
4. S11/S22均显示1.01且S12/S21均显示0dB或S11/S22窗口波形没有峰值且S12/S21窗口曲线没有沟时, 表示校准成功。

## 驻波、插损测试

1. 常温环境下将电缆组件连接到网络分析仪上;



2. 静态情况下按要求设定频率, 测试驻波及插损值 ○

## 抖动幅度/相位稳定性测试

1. 将电缆组件连接到网络分析仪上, 并将网分衰减及相位设定清零;
2. 将电缆与网分连接器位置压住, 防止抖动时连接器晃动影响测试数据;
3. 手握单圈或多圈电缆上下抖动, 抖动幅度10cm左右, 频率2次/秒左右;
4. 待衰减及相位曲线稳定后, 记录整个频段内相位和衰减的变化幅度的最大值;
5. 必要时可重复操作几次, 确认电缆性能。

# 实验检测能力



类别	测试描述	测试方法/标准	测试范围/检测能力极限	精度	主要测试设备
电性测试	电压驻波比(VSWR)/插入损耗/相位/插分阻抗/眼图/时域分析/特性阻抗/延迟等测试	EIA-364-108、SJ 2331-1983 SJ 2474-1984	50MHz~40GHz	±2%	网络分析仪： Keysight N5230C Keysight E8363B
			10MHz~67GHz	±2%	网络分析仪： 中电第四十一所 AV3672E
			10MHz~110GHz	±2%	网络分析仪： 中电第四十一所 3672P
	绝缘耐压测试	EIA-364-20、IEC-512-4-1	0~5KVAC/0~6KVDC 0.01mA~20mA	±2%	Tonghui绝缘耐压测试仪
	电缆特性阻抗、传播速率测试	EIA-364-103、EIA-364-106	脉冲幅度(50Ω负载): 300mV	±2%	Tektronic TDR测试仪
外观及尺寸测试	外观检验	IPC 620	放大倍数: 8X~100X	/	CCD电子放大仪
	尺寸测量	EIA-36418	X300*Y200mm	0.001mm	二次元测量仪
		EIA-36418	0~15mm	0.001mm	高度规/千分尺
机械测试	插拔寿命测试	IEC512-9-1、EIA-364-09	/	/	插拔寿命试验机
	导体伸长率测试	GB/T4909	0~80%	±2%	伸长率拉力测试仪
	拉力/保持力测试	EIA364-13	≤2000N	±1N	伸长率拉力测试仪
	电缆折弯摇摆测试	GB/T 17738.1-1999	±90°	±5%	折弯摇摆测试仪
环境测试	高温试验	IEC-68-2-2	+250	±2 °C	高温试验箱
	低温试验	IEC-68-2-1	-60	±1°C	可编程高低温试验箱
	高低循环试验	IEC-68-2-14	-60~+150		
	高低温冲击试验	IEC 68-2-33	-60 ~+250	±2 °C	高温试验箱+可编程 高低温试验箱
	防水测试	IEC 60529	IP*8	±5%	防水试验管
	金属电镀层X射线分析	GB/T 16921 ASTM B568	测量元素:金/镍/铜/锡/ 银/三元合金 测量点最小值: Φ0.16mm	±5%	膜厚测试仪
	金属焊接X射线分析	/	450*450mm	7μm	离线式X-Ray检测设备: AX9100
	X荧光光谱仪	IEC 62321-5:2013	RoHS金属四项	MDL2mg/kg	RoHS 1.0
		ICE 62321-4:2013+A1:2017			
		IEC 62321-7-1:2015			
		IEC 62321-6:2015			
	气相色谱质谱联用仪	IEC 62321-8:2017	DEHP/BBP/DBP/DIBP	MDL30mg/kg	RoHS 2.0
	盐雾实验	GJB360B-2009 方法101	+5 ~+55	±3%	盐雾试验机



膜厚测试仪



高低温试验箱



盐雾试验机



高温试验箱



网络分析仪



TDR测试仪



RoHS1.0测试



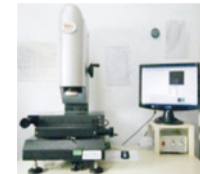
RoHS2.0测试



摇摆试验机



伸长率拉力测试仪

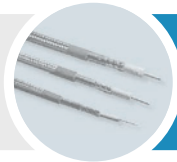


二次元测量仪



绝缘耐压测试仪





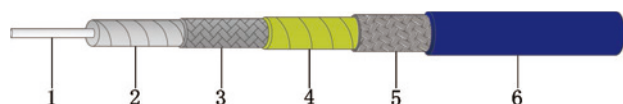
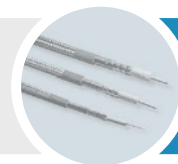
## 产品特点

- 良好的机械相位稳定性
- 良好的幅度稳定性
- 优良的屏蔽性能
- 良好的弯曲性能
- 优良的耐用性
- 良好的机械强度
- 良好的功率处理能力

FSA系列射频电缆采用国外军工市场广泛使用的结构，低密度PTFE介质，镀银扁线编织，三层屏蔽，该结构广泛应用于商用飞机、战斗机，舰载环境，地面武器系统。该结构系列电缆经过多年的实践应用，性能可靠，环境适应性好，耐用并且拥有超长的使用寿命。

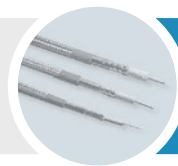
## 同类电缆替换表

F+S	TIMES	ASTROLAB	SEMFLEX	MCC	H+S
FSA-460	SFT-142	32022	HP160S	UFA147A	SF-102
FSA-520	SFT-205	32055	HP190S	UFA205A	SF-104
FSA-630	SFT-304	32051	HP305S		

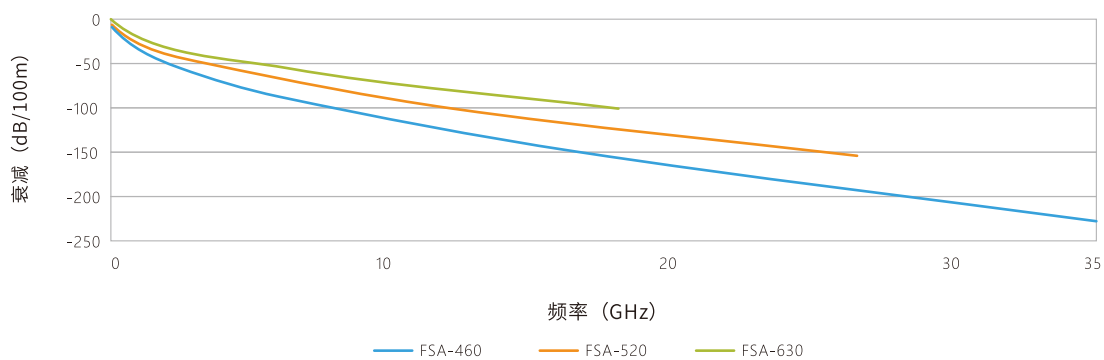


1	中心导体	镀银铜	4	中间层	高温铝箔
2	电介质	PTFE	5	外层屏蔽	镀银铜丝
3	外导体	镀银铜带	6	护套	FEP

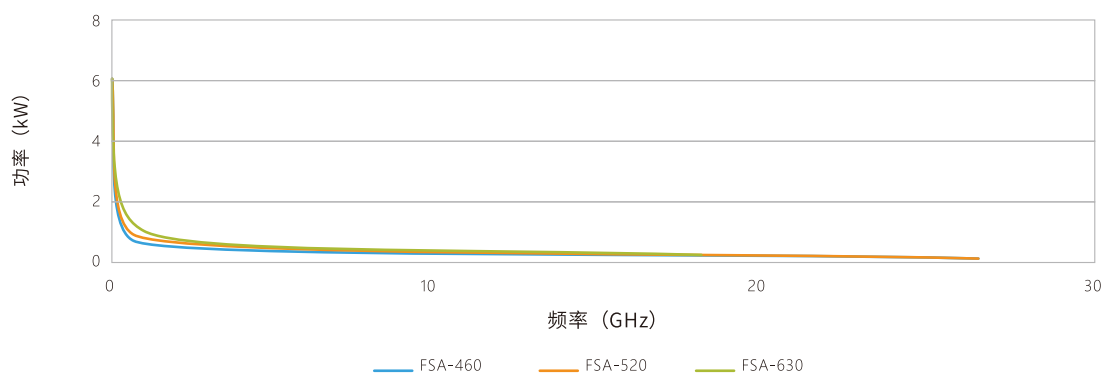
	FSA-460			FSA-520			FSA-630		
物理和机械性能									
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外护套	4.50	0.177		5.20	0.205		6.00	0.236	
最小弯曲半径, 安装	20	0.787		25	0.984		32	1.260	
最小弯曲半径, 重复	46	1.811		52	2.047		63	2.480	
重量	50 g/m	0.034	lbs/ft	60 g/m	0.040	lbs/ft	90 g/m	0.060	lbs/ft
温度范围	-55~+200°C (-67~+392°F)								
电气性能									
工作频率	26.5 GHz			26.5 GHz			18 GHz		
相位稳定性最大值(°)@工作频率	±8			±10			±10		
幅度稳定性最大值(dB)@工作频率	±0.15			±0.10			±0.10		
阻抗	50 Ω								
屏蔽效率	> 100 dB								
传播速率	76%								
衰减与平均功率	衰减 (+25°C 室温); 功率 (+40°C 室温, 海平面, 驻波1:1)								
频率 (MHz)	dB/m	dB/ft	kW	dB/m	dB/ft	kW	dB/m	dB/ft	kW
1000	0.354	0.108	0.569	0.277	0.084	0.726	0.222	0.068	1.024
2000	0.504	0.154	0.400	0.395	0.120	0.509	0.317	0.097	0.716
4000	0.719	0.219	0.280	0.565	0.172	0.355	0.455	0.139	0.499
8000	1.032	0.315	0.195	0.813	0.248	0.247	0.658	0.201	0.345
10000	1.160	0.354	0.174	0.915	0.279	0.219	0.742	0.226	0.306
18000	1.583	0.483	0.127	1.255	0.383	0.160	1.022	0.312	0.222
26500	1.949	0.594	0.103	1.550	0.473	0.130			
其他频点衰减	$\text{dB/m} = \frac{K1 \cdot \sqrt{\text{FMHz}} + K2 \cdot \text{FMHz}}{100}$								
K1	1.0994853			0.8562336			0.6827428		
K2	0.0006019			0.0005906			0.0005906		



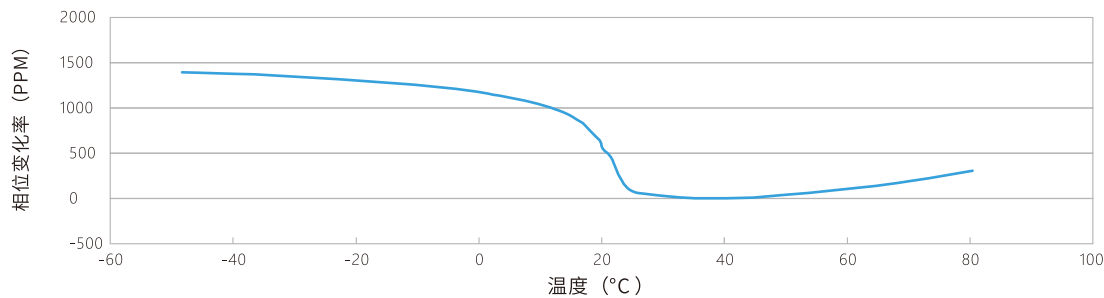
## 频率与衰减

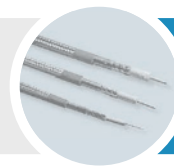


## 频率与功率

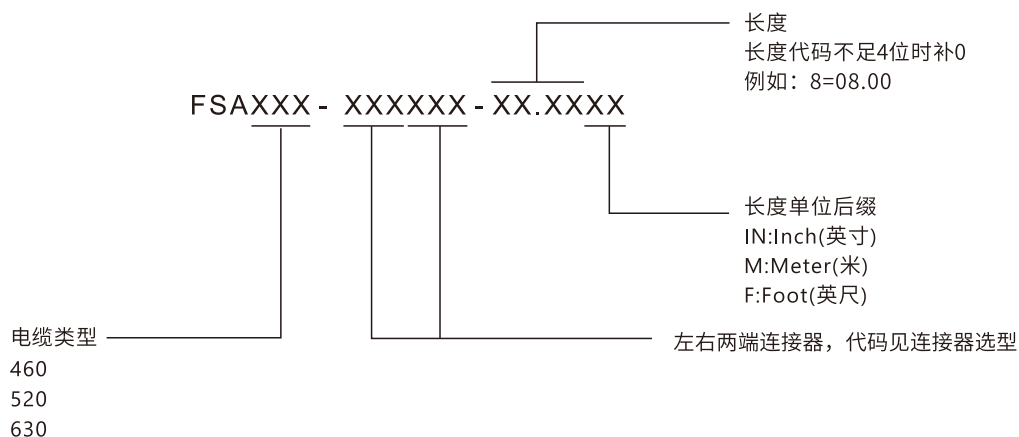


## 温度相位 (PPM)





## 组件选型信息



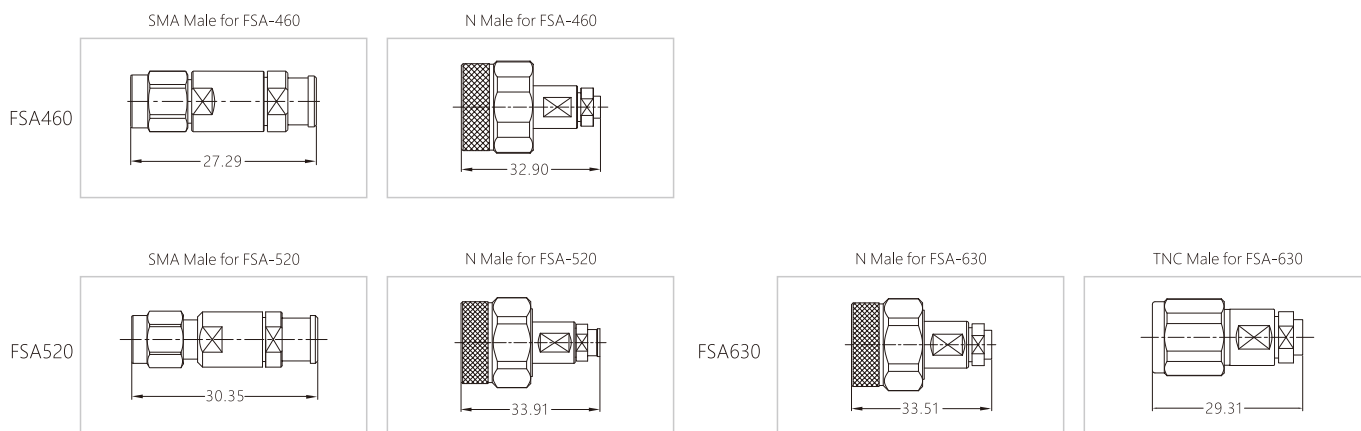
例: FSA460-SMNM-01.00M  
FSA-460电缆, 左端采用SMA Male, 右端采用N Male, 组件长度1米

## 选型参考

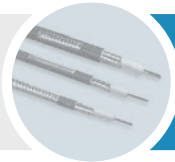
连接器代码	连接器类型	工作频率	FSA-460	FSA-520	FSA-630	典型驻波	最大驻波
35M	3.5mm Male	26.5GHz	○			1.25	1.30
SM	SMA Male	26.5GHz	●	●		1.25	1.30
		18GHz			○	1.25	1.30
SMR	SMA Male Right Angle	26.5GHz	○			1.30	1.35
NM	N Male	18GHz	●	●	●	1.25	1.30
NMR	N Male Right Angle	18GHz	○			1.30	1.35
NF	N Female	18GHz	○		○	1.30	1.35
TM	TNC Male	18GHz	○	○	●	1.25	1.30

●为常备库存, 如需其他类型连接器, 请联系翼波电子

## 连接器外形图



●免责声明: 本手册所提供的产品信息仅供参考, 具体以产品实际为准, 最终解释权归嘉兴翼波电子有限公司所有。



## 产品特点

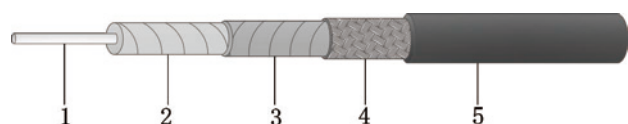
- 优良的机械相位稳定性
- 优良的温度相位稳定性
- 超低损耗
- 优良的幅度稳定性
- 良好的屏蔽性能
- 良好的弯曲性能
- 良好的功率处理能力

FSB系列射频电缆采用国际领先的低损稳相射频电缆工艺，低密度PTFE介质，镀银铜带绕包。该结构是柔性电缆中损耗最低的电缆结构。可广泛应用于军用雷达、相控阵雷达、电子对抗、机载设备等任何对损耗、相位要求苛刻的场合。

## 同类电缆替换表

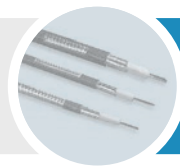
F+S	MCC	GORE	TIMES	IW	HAROUR	SEMFLEX
FSB-220		3506				
FSB-360	UFB142A	3507		1401		
FSB-500	UFB205A	3449	HF190	1801		
FSB-800	UFB311A	3450	HF290	2801	LLS290	La290



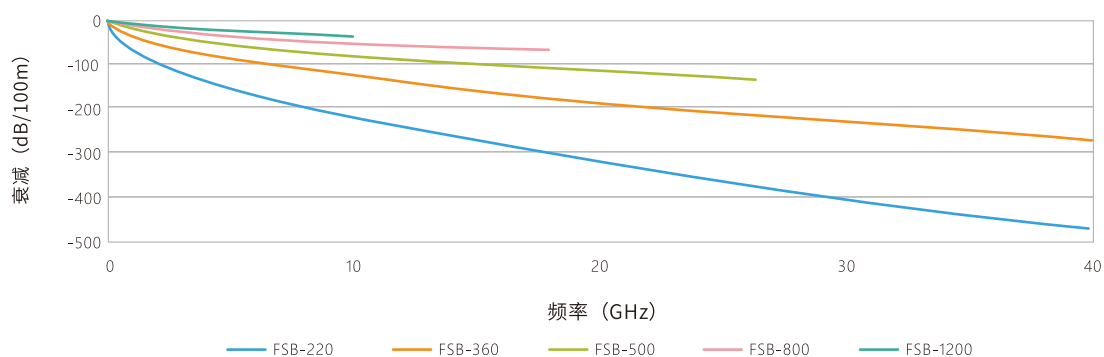


1	中心导体	镀银铜	4	屏蔽层	镀银铜丝
2	电介质	PTFE	5	护套	FEP
3	外导体	镀银铜带			

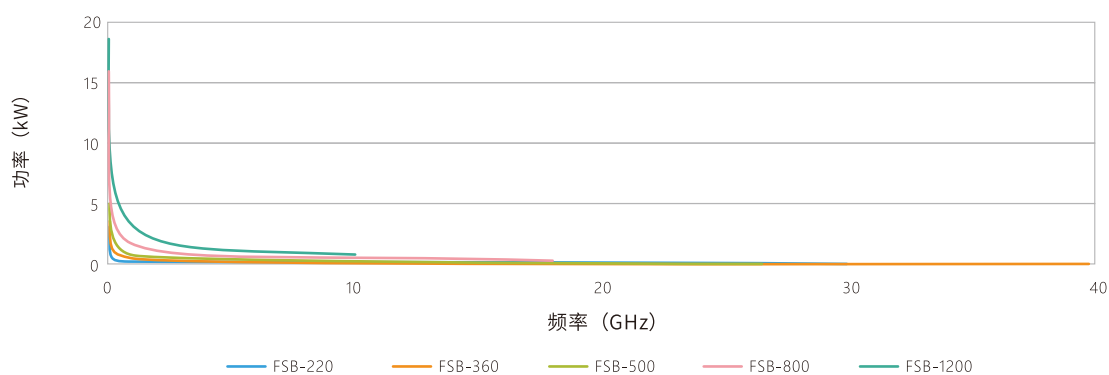
	FSB-220			FSB-360			FSB-500			FSB-800			FSB-1200		
物理和机械性能															
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外护套	2.20	0.087		3.60	0.142		5.20	0.205		7.80	0.307		12.00	0.472	
最小弯曲半径, 安装	15.0	0.591		18.0	0.709		20.0	0.787		35.0	1.378		60.0	2.362	
最小弯曲半径, 重复	22.0	0.866		36.0	1.417		50.0	1.969		80.0	3.150		110.0	4.331	
重量	14 g/m	0.009	lbs/ft	33 g/m	0.022	lbs/ft	63 g/m	0.042	lbs/ft	130 g/m	0.087	lbs/ft	280 g/m	0.188	lbs/ft
温度范围	-55~+165°C (-67~+329°F)														
电气性能															
工作频率	40 GHz			40 GHz			26.5 GHz			18 GHz			10 GHz		
相位稳定性最大值(°)@工作频率	±10			±8			±5			±5			±5		
幅度稳定性最大值(dB)@工作频率	±0.15			±0.15			±0.10			±0.10			±0.05		
阻抗	50Ω														
屏蔽效率	> 90 dB														
传输速率	82%			82%			83%			83%			83%		
衰减与平均功率	衰减 (+25°C 室温) & 功率 (+40°C 室温; 海平面; 驻波 1:1)														
频率 (MHz)	dB/m	dB/ft	kW	dB/m	dB/ft	kW	dB/m	dB/ft	kW	dB/m	dB/ft	kW	dB/m	dB/ft	kW
1000	0.631	0.192	0.271	0.375	0.114	0.511	0.230	0.070	0.875	0.148	0.045	1.812	0.099	0.030	3.045
2000	0.901	0.275	0.190	0.534	0.163	0.359	0.327	0.100	0.615	0.211	0.064	1.269	0.144	0.044	2.108
4000	1.291	0.394	0.132	0.761	0.232	0.252	0.466	0.142	0.431	0.302	0.092	0.886	0.209	0.064	1.448
8000	1.860	0.567	0.092	1.089	0.332	0.176	0.666	0.203	0.301	0.434	0.132	0.615	0.308	0.094	0.984
10000	2.095	0.639	0.082	1.223	0.373	0.157	0.748	0.228	0.268	0.489	0.149	0.547	0.350	0.107	0.867
18000	2.877	0.877	0.059	1.667	0.508	0.115	1.019	0.311	0.197	0.671	0.205	0.398			
26500	3.559	1.085	0.048	2.048	0.624	0.094	1.252	0.382	0.160						
40000	4.480	1.366	0.038	2.557	0.780	0.075									
其他频点衰减	dB/m= $\frac{K1*\sqrt{FMHz}+K2*FMHz}{100}$														
K1	1.9500000			1.1684700			0.7156867			0.4563799			0.2985150		
K2	0.0014500			0.0005500			0.0003280			0.0003280			0.0005100		



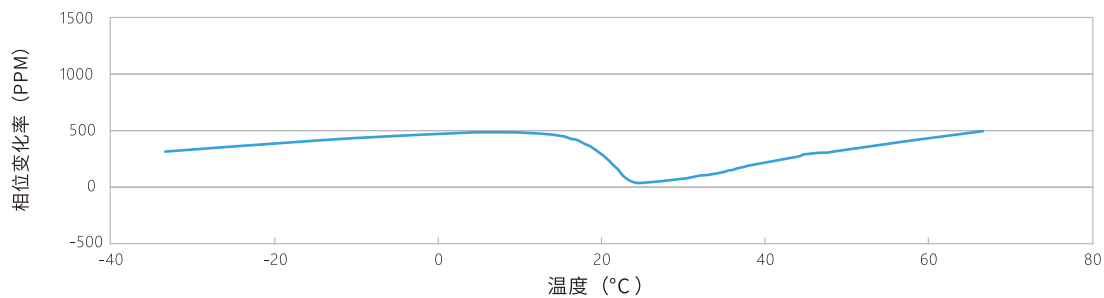
## 频率与衰减

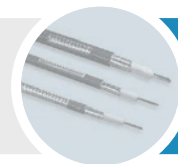


## 频率与功率

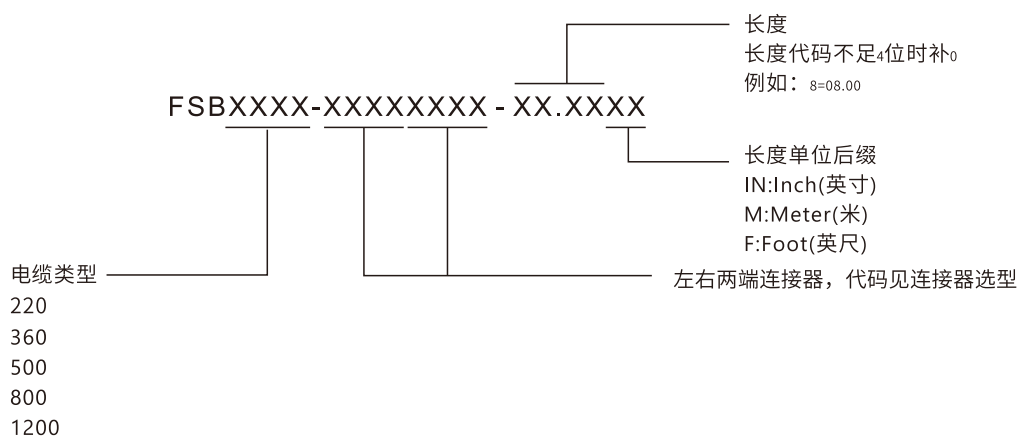


## 温度相位 (PPM)





## 组件选型信息



例：FSB360-29M29M-01.00M  
FSB-360电缆，左右两端采用2.92mm Male，组件长度1米

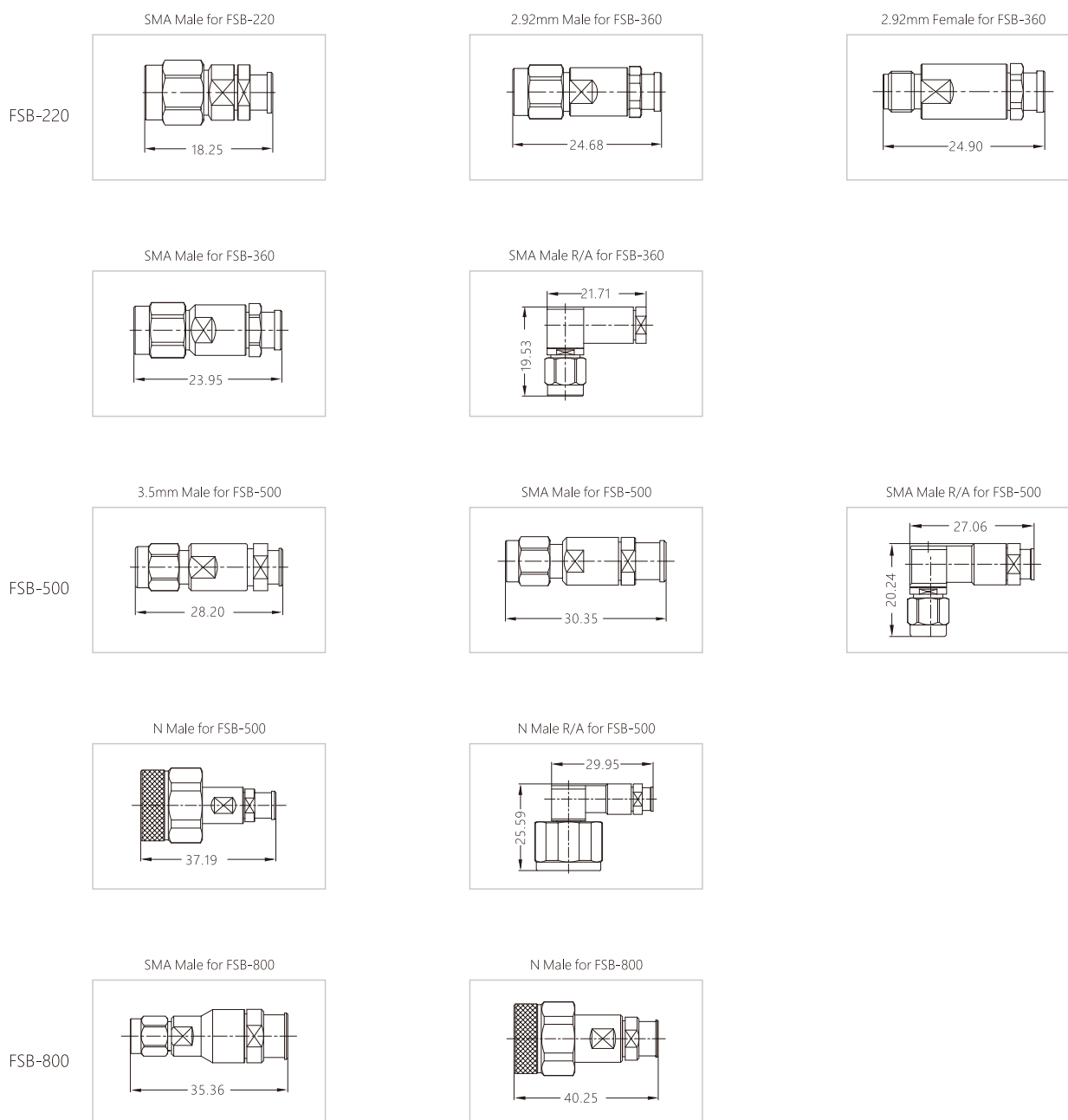
## 选型参考

连接器代码	连接器类型	工作频率	FSB-220	FSB-360	FSB-500	FSB-800	FSB-1200	典型驻波	最大驻波
24M	2.4mm Male	50GHz		○				1.30	1.35
24F	2.4mm Female	50GHz		○				1.30	1.35
29M	2.92mm Male	40GHz		●				1.25	1.30
29F	2.92mm Female	40GHz		●				1.25	1.30
35M	3.5mm Male	26.5GHz		○	●			1.25	1.30
35F	3.5mm Female	26.5GHz			○			1.25	1.30
SM	SMA Male	26.5GHz	●	●	●			1.25	1.30
		18GHz				●		1.25	1.30
SMR	SMA Male Right Angle	18GHz			●	○		1.30	1.35
		12GHz	○	●				1.30	1.35
SF	SMA Female	18GHz	○	○		○		1.25	1.30
NM	N Male	18GHz			●	●		1.25	1.30
		10GHz					○	1.30	1.35
NMR	N Male Right Angle	12GHz			●			1.30	1.35
NF	N Female	18GHz			○	○		1.30	1.35
TM	TNC Male	18GHz			○	○		1.30	1.35
SCM	SC Male	10GHz					○	1.30	1.35
716M	7/16 Male	7.5GHz					○	1.30	1.35

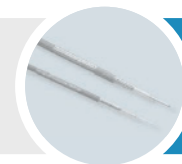
●为常备库存，如需其他类型连接器，请联系翼波电子



## 连接器外形图



● 免责声明：本手册所提供的产品信息仅供参考，具体以产品实际为准，最终解释权归嘉兴翼波电子有限公司所有。



## 产品特点

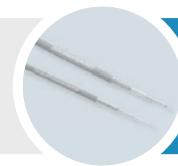
- 良好的机械相位稳定性
- 良好的幅度稳定性
- 优良的屏蔽性能
- 优良的性价比
- 丰富的连接器选择

FSC系列射频电缆是仪器内部互联的高性价比选择。相较于传统半柔 and 半钢线，设计及安装都更灵活。且采用标准化的电缆结构尺寸，适配各种半钢与半柔电缆的连接器。

## 同类电缆替换表

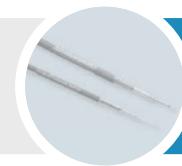
F+S	TIMES	H+S	HABIA	HARBOUR
FSC-280	TFLEX-405	MULTIFLEX86	MULTIBEND86	SS405
FSC-400	TFLEX-402	MULTIFLEX141	MULTIBEND141	SS402



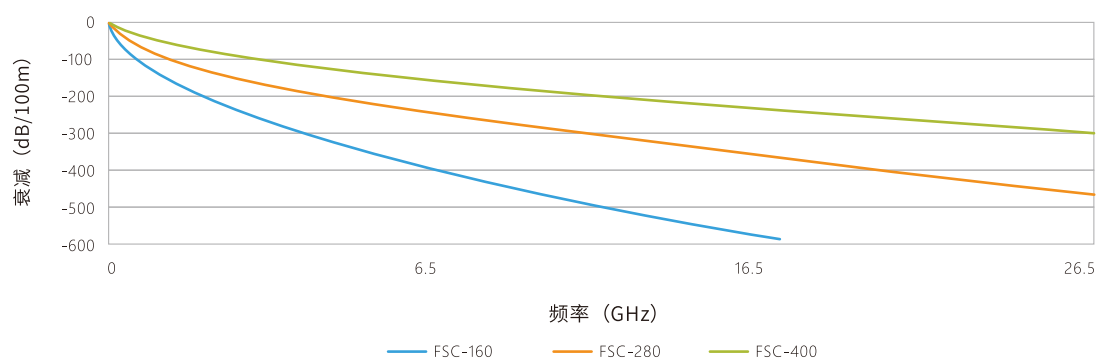


1	中心导体	镀银铜包钢	4	中间层	PET
2	电介质	PTFE	5	屏蔽层	镀银铜丝
3	外导体	镀银铜带	6	护套	FEP

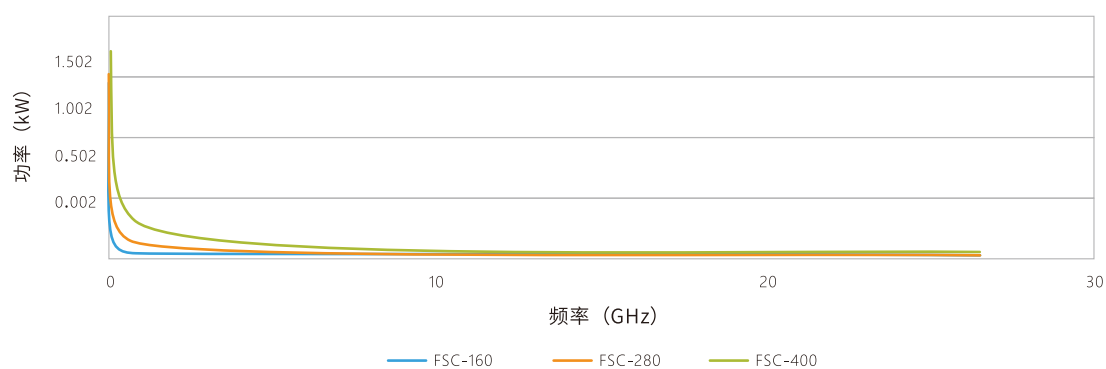
	FSC-160			FSC-280			FSC-400		
物理和机械性能									
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外护套	1.6	0.063		2.8	0.110		4.0	0.157	
最小弯曲半径, 安装	6	0.236		14	0.051		20	0.787	
最小弯曲半径, 重复	16	0.630		28	1.102		40	1.575	
重量	7 g/m	0.005 lbs/ft		22 g/m	0.015 lbs/ft		49 g/m	0.033 lbs/ft	
温度范围	-55~+125°C (-67~+257°F)								
电气性能									
工作频率	18GHz			26.5GHz			26.5GHz		
相位稳定性最大值(°)@工作频率	±8			±5			±8		
幅度稳定性最大值(dB)@工作频率	±0.25			±0.20			±0.10		
阻抗	50 Ω								
屏蔽效率	> 90 dB								
传播速率	70%								
衰减与平均功率	衰减 (+25°C 室温) & 功率 (+40°C 室温; 海平面; 驻波 1:1)								
频率 (MHz)	dB/ m	dB/ft	kW	dB/ m	dB/ft	kW	dB/ m	dB/ft	kW
1000	1.198	0.365	0.038	0.693	0.211	0.100	0.382	0.116	0.267
2000	1.715	0.523	0.027	1.003	0.306	0.069	0.563	0.172	0.181
4000	2.467	0.752	0.019	1.465	0.447	0.047	0.842	0.257	0.121
8000	3.572	1.089	0.013	2.164	0.660	0.032	1.283	0.391	0.080
10000	4.032	1.229	0.011	2.461	0.750	0.028	1.476	0.450	0.069
18000	5.574	1.699	0.008	3.482	1.062	0.020	2.161	0.659	0.047
26500				4.408	1.344	0.016	2.805	0.855	0.036
其他频点衰减	$\text{dB/m} = \frac{K1 \cdot \sqrt{\text{FMHz}} + K2 \cdot \text{FMHz}}{100}$								
K1	3.6740161			2.0669291			1.0824000		
K2	0.0035795			0.0039370			0.0039370		

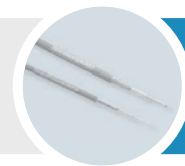


## 频率与衰减

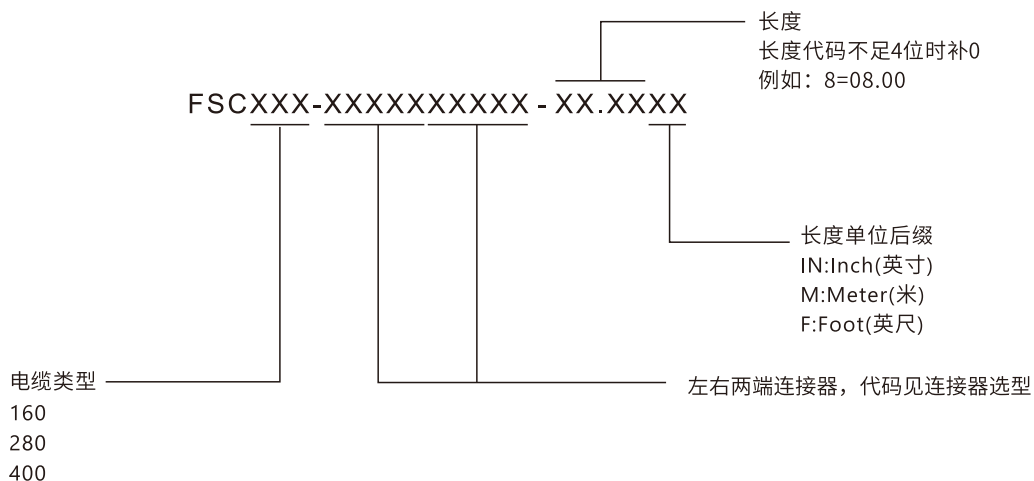


## 频率与功率





## 组件选型信息



例：FSC280-SMPFSMPFR-01.00M

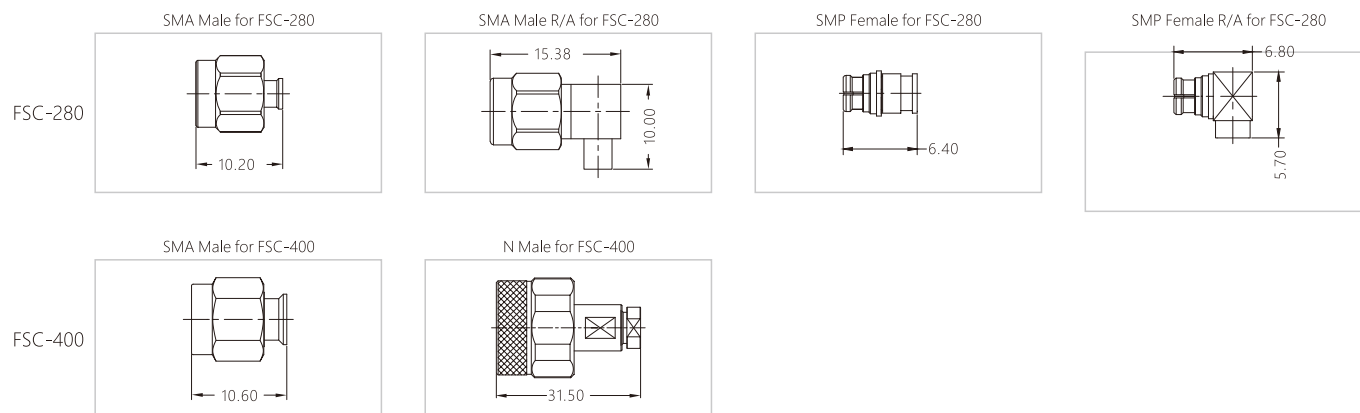
FSC-280电缆，左端采用SMP Female，右端采用SMP Female R/A，组件长度1米

## 选型参考

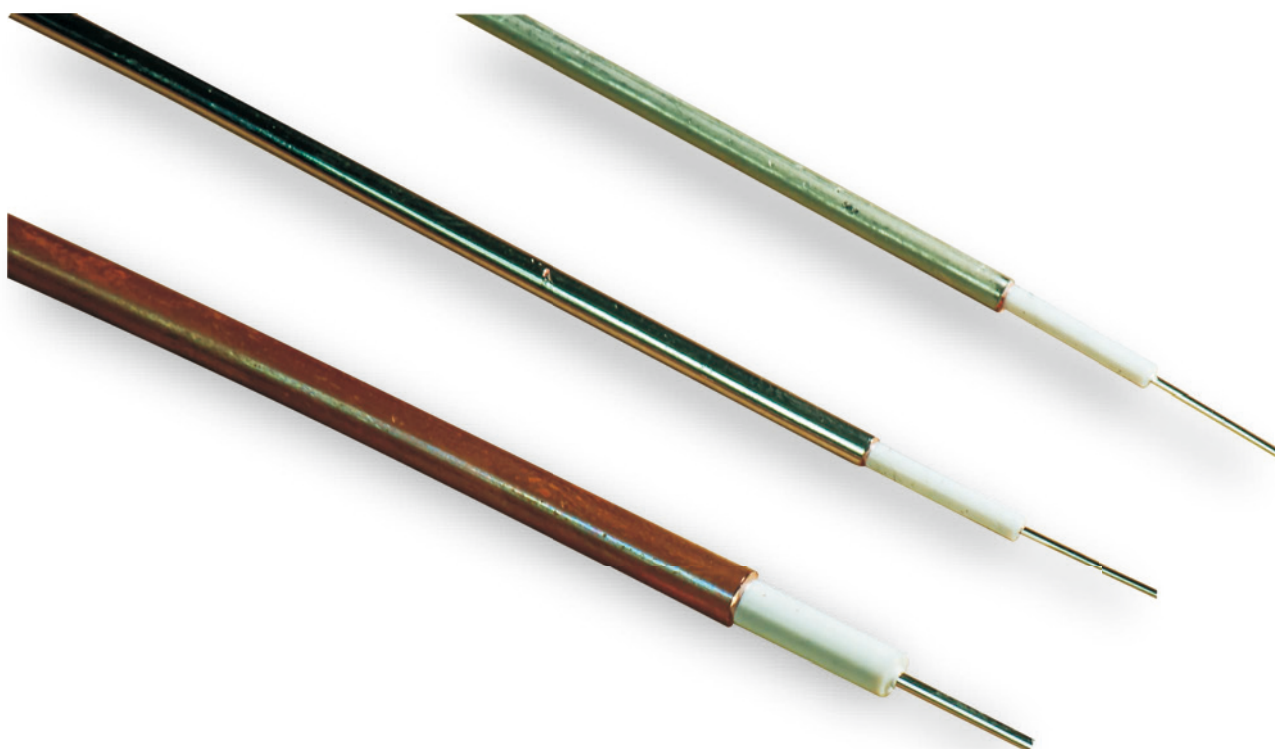
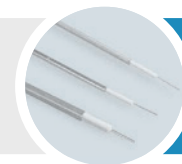
连接器代码	连接器类型	工作频率	FSC-160	FSC-280	FSC-400	典型驻波	最大驻波
SM	SMA Male	26.5GHz		●	●	1.25	1.30
SMR	SMA Male Right Angle	18GHz	○		○	1.30	1.35
		14GHz		●		1.30	1.35
NM	N Male	18GHz			●	1.25	1.30
SMPF	SMP Female	18GHz		●		1.30	1.35
SMPFR	SMP Female Right Angle	18GHz		●		1.30	1.35
SSMPF	SSMP Female	40GHz		○		1.40	1.50

●为常备库存，如需其他类型连接器，请联系翼波电子

## 连接器外形图



●免责声明：本手册所提供的产品信息仅供参考，具体以产品实际为准，最终解释权归嘉兴翼波电子有限公司所有。



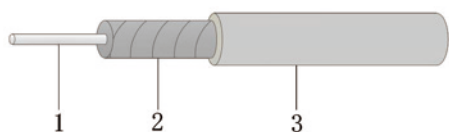
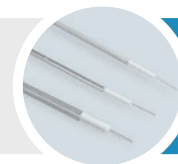
## 产品特点

- 良好的温度相位稳定性
- 超低损耗
- 优良的耐腐蚀性
- 超高功率
- 重量轻
- 丰富的连接器选择

FSD系列射频电缆在传统的半刚电缆的基础上，用先进的低密度PTFE绕包介质取代传统的实芯固态PTFE介质，对比传统的半硬电缆，FSD系列可以有效降低衰减30%，温度相位变化率降低100%，耐功率提升200%，重量降低约20%。标准化的电缆结构尺寸，可轻易选择标准化的半刚与半柔电缆的连接器。

## 同类电缆替换表

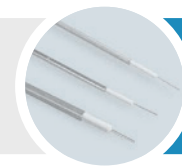
F+S	TIMES	MCC
FSD-070-TP/TM		070-LL
FSD-086-TP/TM	CLL50086	UT-085-LL
FSD-120-TP/TM		UT-120-LL
FSD-141-TP/TM	CLL50141	UT-141-LL



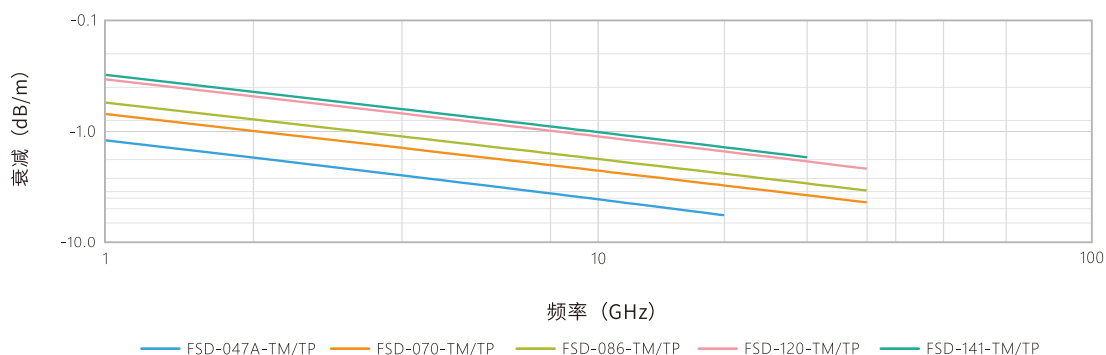
- |   |      |      |   |     |          |
|---|------|------|---|-----|----------|
| 1 | 中心导体 | 镀银铜  | 3 | 外导体 | TM 镀三元合金 |
| 2 | 电介质  | PTFE |   |     | TP 镀锡    |

	FSD-047A-TM/TP			FSD-070-TM/TP			FSD-086-TM/TP			FSD-120-TM/TP			FSD-141-TM/TP		
物理和机械性能															
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外导体	1.19	0.047		2.00	0.08		2.18	0.086		3.05	0.120		3.58	0.141	
最小弯曲半径, 安装	5	0.197		10	0.39		7	0.276		10.5	0.413		12.5	0.492	
重量	6 g/m	0.004 lbs/ft		12g/m	0.008 lbs/ft		19 g/m	0.013 lbs/ft		35 g/m	0.024 lbs/ft		43 g/m	0.029 lbs/ft	
温度范围	-60~+150°C (-76~302°F)						-60~+250°C (-76~482°F)								
电气性能															
工作频率	20 GHz			67 GHz			50 GHz			40 GHz			26.5 GHz		
阻抗	50Ω														
屏蔽效率	> 165dB														
传播速率	70%			76%			76%			76%			76%		
衰减与平均功率	衰减 (+25°C 室温) & 功率 (+40°C 室温; 海平面; 驻波 1:1)														
频率 (MHz)	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW
1000	1.204	0.367	0.047	0.698	0.213	0.335	0.550	0.168	0.259	0.340	0.104	0.528	0.310	0.094	0.590
2000	1.728	0.527	0.033	0.992	0.302	0.236	0.782	0.238	0.183	0.484	0.147	0.371	0.442	0.135	0.414
4000	2.494	0.760	0.023	1.413	0.431	0.166	1.113	0.339	0.128	0.691	0.211	0.259	0.631	0.193	0.289
8000	3.628	1.106	0.016	2.017	0.615	0.116	1.587	0.484	0.090	0.991	0.302	0.181	0.907	0.276	0.201
10000	4.102	1.250	0.014	2.264	0.690	0.103	1.781	0.543	0.080	1.114	0.340	0.161	1.020	0.311	0.179
18000	5.700	1.738	0.010	3.075	0.937	0.076	2.417	0.737	0.059	1.522	0.464	0.118	1.396	0.426	0.131
26500				3.769	1.149	0.062	2.960	0.902	0.048	1.874	0.571	0.096	1.721	0.525	0.106
35000				4.369	1.332	0.054	3.428	1.045	0.042	2.180	0.665	0.082			
40000				4.692	1.430	0.050	3.680	1.122	0.039	2.346	0.715	0.076			
50000				5.290	1.612	0.044	4.146	1.264	0.034						
				6.199	1.889	0.038									
其他频点衰减	dB/m= $\frac{K1*\sqrt{FMHz}+K2*FMHz}{100}$														
K1	3.6716383			2.1811842			1.7220000			1.0550000			0.9610400		
K2	0.0043000			0.0008251			0.0005900			0.0005904			0.0005904		

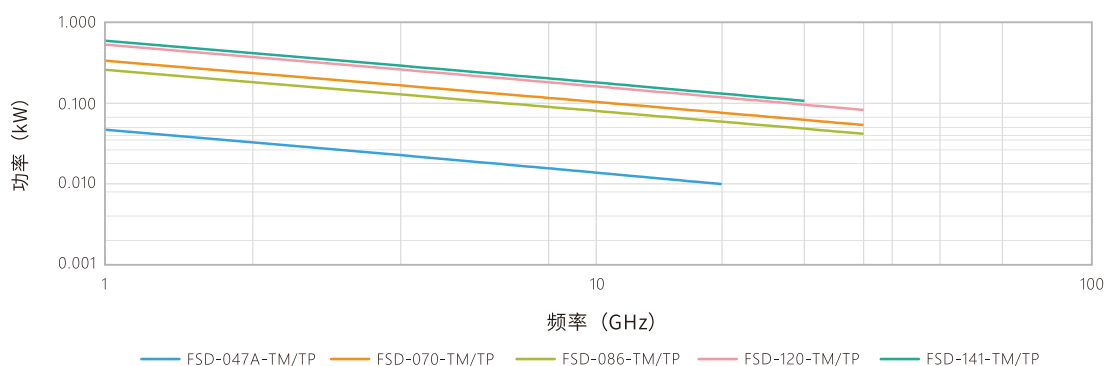




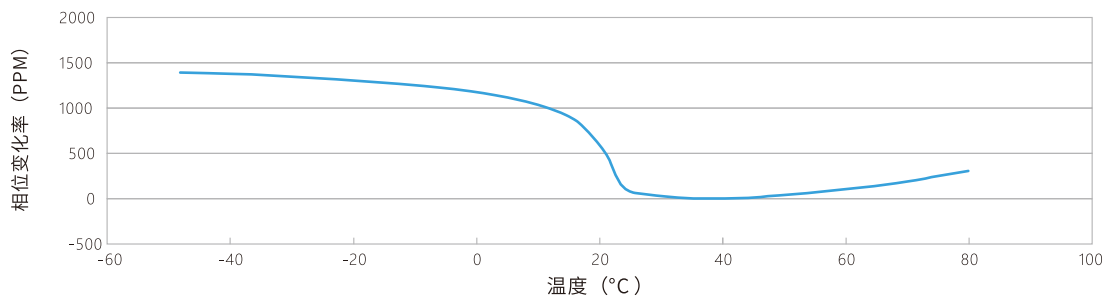
## 频率与衰减

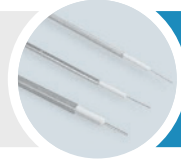


## 频率与功率

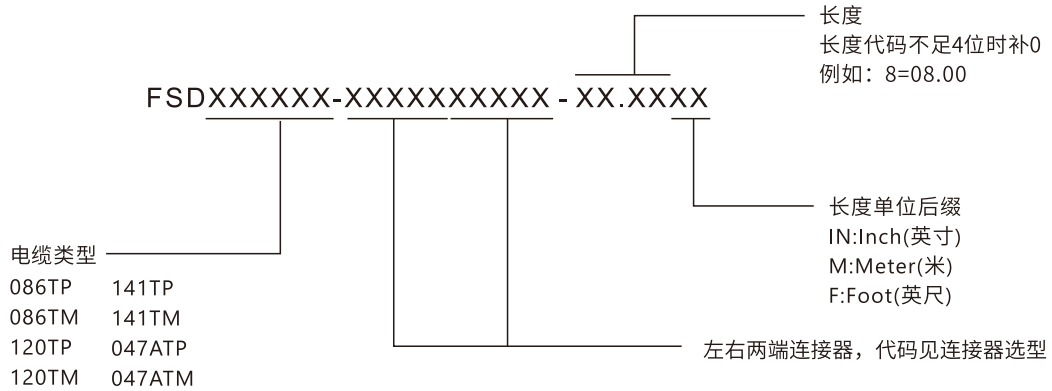


## 温度相位 (PPM)





## 组件选型信息



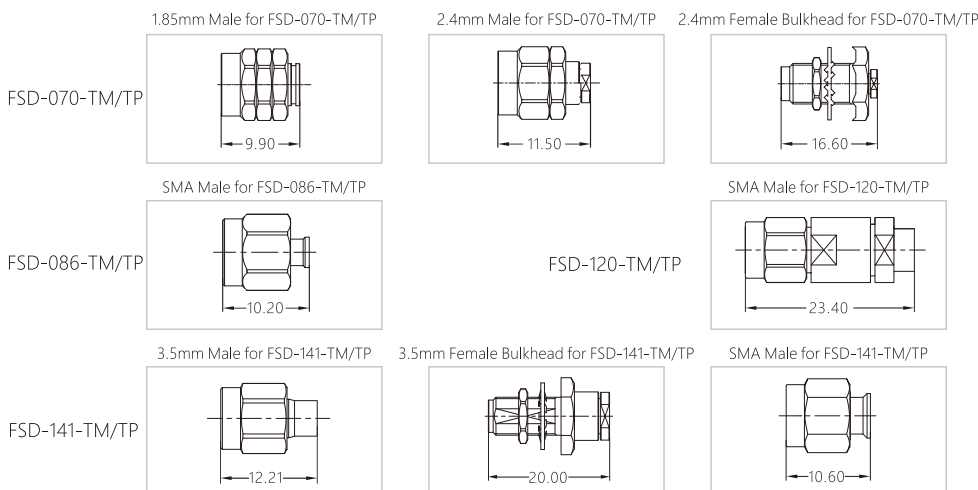
例：FSD086TM-SMSM-00.30M  
FSD-086-TM电缆，左右两端采用SMA Male，组件长度0.3米

## 选型参考

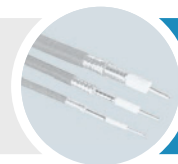
连接器代码	连接器类型	工作频率	FSD-047A -TM/TP	FSD-070 -TM/TP	FSD-086 -TM/TP	FSD-120 -TM/TP	FSD-141 -TM/TP	典型驻波	最大驻波
18M	1.85mm Male	67GHz	○	●				1.35	1.40
18FBH	1.85mm Female Bulkhead	67GHz	○					1.35	1.40
24M	2.4mm Male	50GHz		●					
24F	2.4mm Female	50GHz		●					
35M	3.5mm Female Bulkhead	26.5GHz					●	1.25	1.30
35FBH		26.5GHz					●	1.25	1.30
SM	SMA Male	26.5GHz			●		●	1.25	1.30
		18GHz				●		1.25	1.30

●为常备库存，如需其他类型连接器，请联系翼波电子

## 连接器外形图



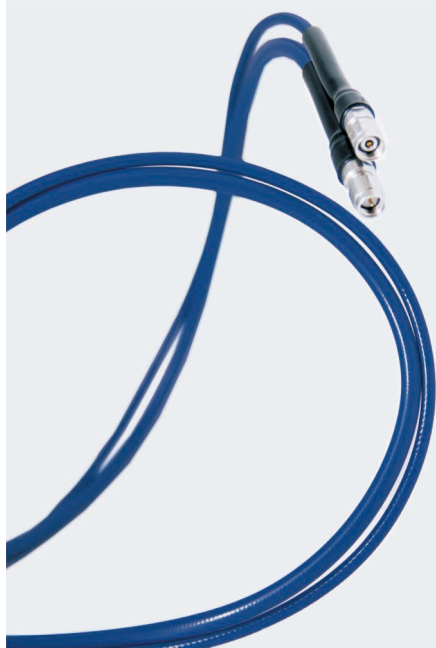
●免责声明：本手册所提供的产品信息仅供参考，具体以产品实际为准，最终解释权归嘉兴翼波电子有限公司所有。

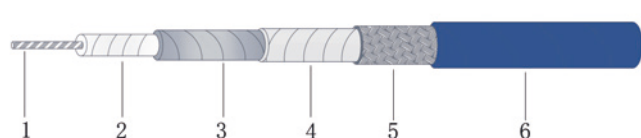
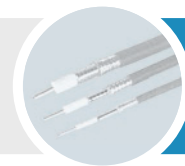


## 产品特点

- ▶ 优良的机械相位稳定性
- ▶ 优良的温度相位稳定性
- ▶ 超低损耗
- ▶ 优良的幅度稳定性
- ▶ 优良的弯曲性能
- ▶ 良好的功率处理能力

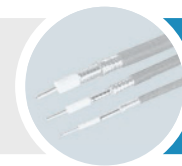
FSE系列射频电缆采用国际领先的低损耗稳相射频电缆工艺，产品采用19芯绞合导体，低密度PTFE介质，镀银扁线绕包。该结构是最好的柔性低损耗稳相电缆结构。产品可广泛应用于需要反复弯曲的设备等任何对损耗、相位要求苛刻的场合。



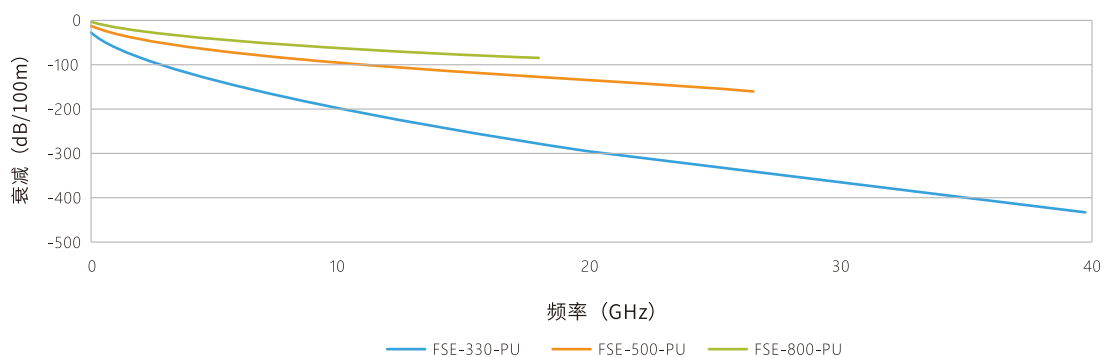


- |        |       |       |      |
|--------|-------|-------|------|
| 1 中心导体 | 绞合镀银铜 | 4 中间层 | PTFE |
| 2 电介质  | PTFE  | 5 屏蔽层 | 镀银铜丝 |
| 3 外导体  | 镀银铜带  | 6 护套  | PUR  |

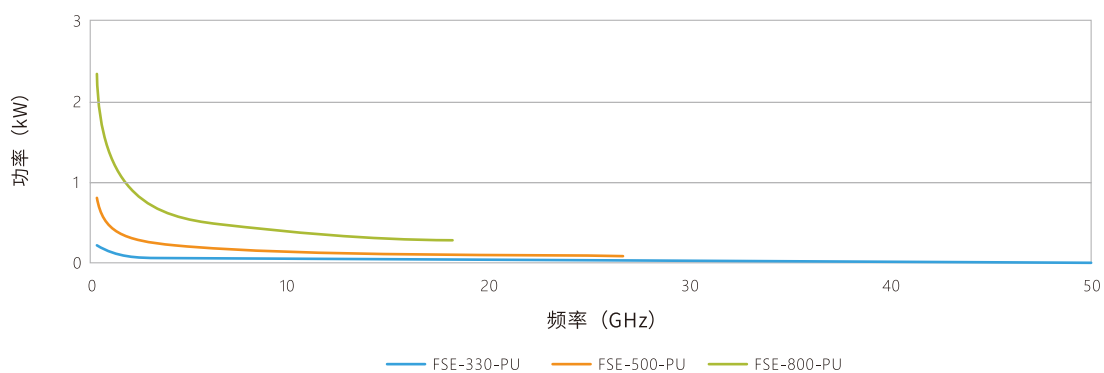
	FSE-330-PU			FSE-500-PU			FSE-800-PU		
物理和机械性能									
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外护套	4.00	0.157		5.50	0.217		8.20	0.323	
最小弯曲半径, 安装	16	0.630		20	0.787		33	1.299	
最小弯曲半径, 重复	36	1.417		50	1.969		82	3.228	
重量	30 g/m	0.020 lbs/ft		53 g/m	0.036 lbs/ft		145 g/m	0.097 lbs/ft	
温度范围	-40~+85°C (-40~+185°F)								
电气性能									
工作频率	50 GHz			26.5 GHz			18 GHz		
相位稳定性最大值(°)@工作频率	±10			±6			±6		
幅度稳定性最大值(dB)@工作频率	±0.10			±0.10			±0.10		
阻抗	50Ω								
屏蔽效率	> 90dB								
传播速率	74%			80%			83%		
衰减与平均功率	衰减 (+25°C 室温) & 功率 (+40°C 室温; 海平面; 驻波 1:1)								
频率 (MHz)	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW
1000	0.581	0.177	0.108	0.283	0.086	0.435	0.177	0.054	1.269
2000	0.833	0.254	0.075	0.402	0.123	0.306	0.252	0.077	0.890
4000	1.199	0.366	0.052	0.574	0.175	0.214	0.361	0.110	0.621
8000	1.739	0.530	0.036	0.821	0.250	0.150	0.520	0.159	0.432
10000	1.964	0.599	0.032	0.923	0.281	0.133	0.585	0.178	0.384
18000	2.719	0.829	0.023	1.257	0.383	0.098	0.803	0.245	0.280
26500	3.385	1.032	0.019	1.544	0.471	0.080			
40000	4.296	1.310	0.015						
50000	4.901	1.494	0.013						
其他频点衰减	$\text{dB/m}=\frac{K1*\sqrt{\text{FMHz}}+K2*\text{FMHz}}{100}$								
K1	1.7798616			0.8811000			0.5476560		
K2	0.0018415			0.0004150			0.0003772		



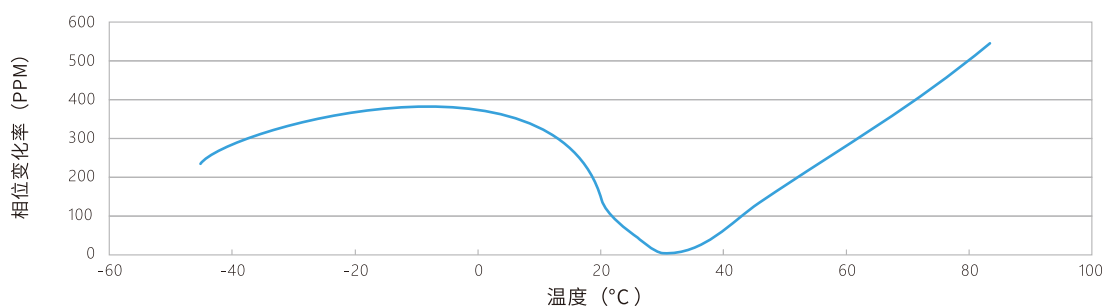
## 频率与衰减

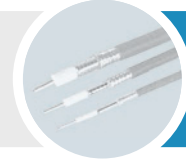


## 频率与功率

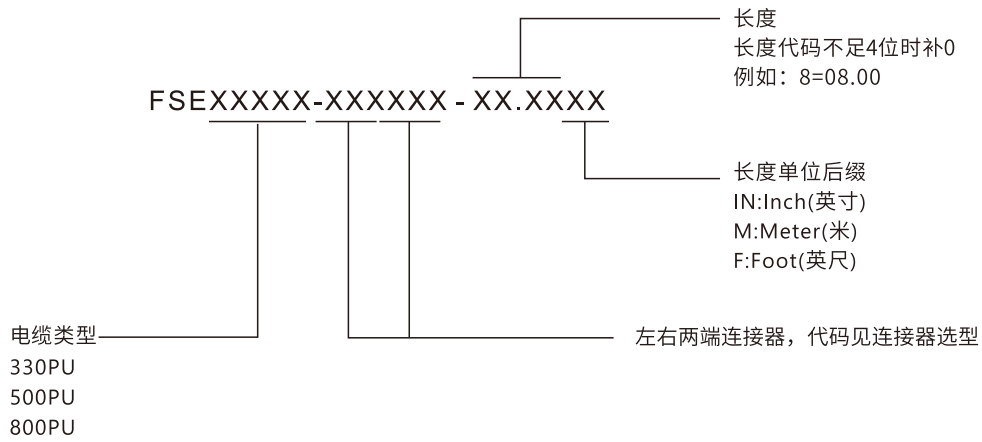


## 温度相位 (PPM)





## 组件选型信息



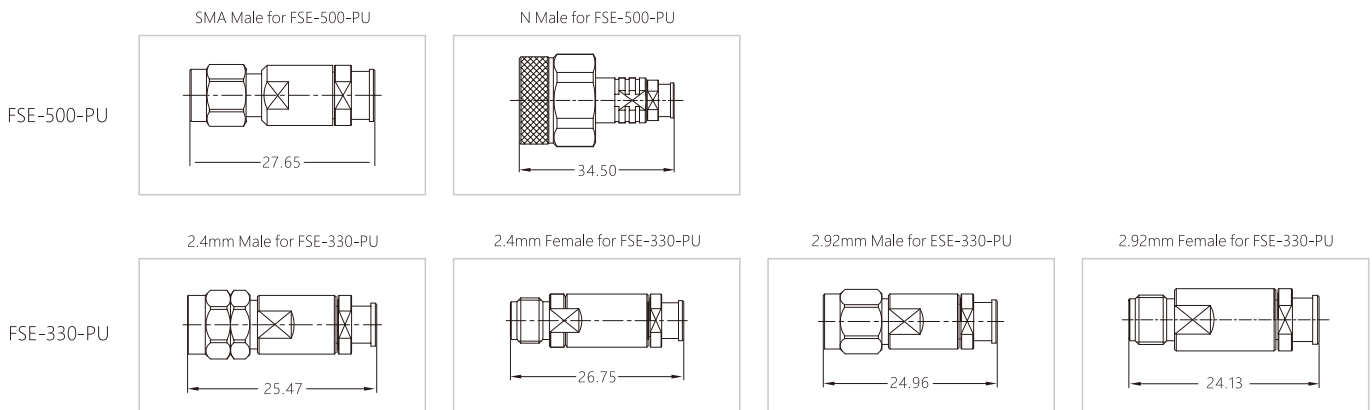
例：FSE330PU-24M24M-36.00IN  
FSE-330-PU电缆，左右两端采用2.4mm Male，组件长度36英寸

## 选型参考

连接器代码	连接器类型	工作频率	FSE-330-PU	FSE-500-PU	FSE-800-PU	典型驻波	最大驻波
24M	2.4mm Male	50GHz	●			1.30	1.35
24F	2.4mm Female	50GHz	●			1.30	1.35
29M	2.92mm Male	40GHz	●			1.25	1.30
29F	2.92mm Female	40GHz	●			1.25	1.30
35M	3.5mm Male	26.5GHz		○		1.25	1.30
SM	SMA Male	18GHz		●	○	1.25	1.30
NM	N Male	18GHz		●	○	1.25	1.30
TM	TNCA Male	18GHz			○	1.25	1.30

●为常备库存，如需其他类型连接器，请联系翼波电子

## 连接器外形图



●免责声明：本手册所提供的产品信息仅供参考，具体以产品实际为准，最终解释权归嘉兴翼波电子有限公司所有。

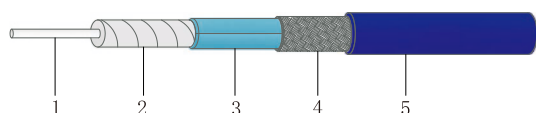


## 产品特点

- 优良的幅度稳定性
- 优良的性价比
- 优良的阻燃性
- 优良的高温特性
- 良好的屏蔽性能
- 良好的耐用性
- 良好的机械强度
- 良好的功率处理能力

FSF系列射频电缆是翼波根据市场需求，深入客户沟通，结合自身对射频电缆材料和工艺的深刻了解，开发出的低损耗经济型射频电缆。该电缆结合国外成熟的电缆工艺和军工领域对电缆的性能要求，在满足军工电缆的性能要求外，进行了成本优化，使产品具有良好的性价比。

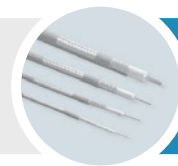
# FSF | 产品规范



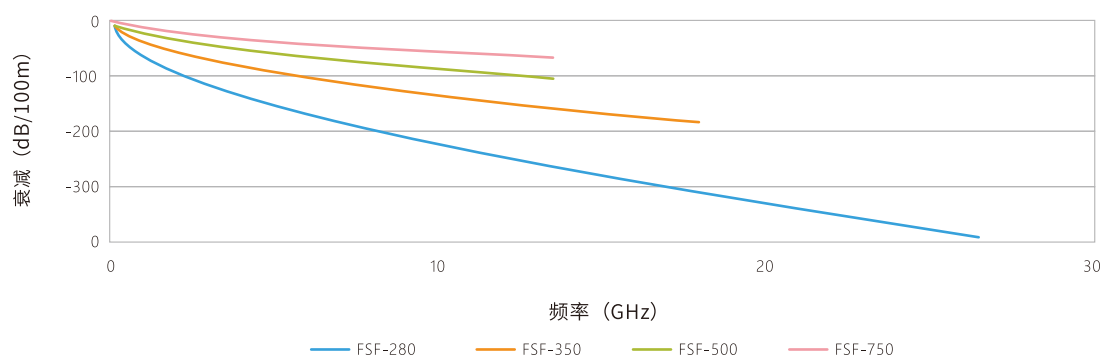
1	中心导体	镀银铜	4	屏蔽层	镀银铜丝
2	电介质	PTFE	5	护套	FEP
3	外导体	自粘铝箔			

	FSF-280			FSF-350			FSF-500			FSF-750		
物理和机械性能												
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外护套	2.60	0.102		3.50	0.138		5.20	0.205		7.80	0.307	
最小弯曲半径, 安装	12	0.472		14	0.551		20	0.787		35	1.378	
最小弯曲半径, 重复	28	1.102		35	1.378		52	2.047		75	2.953	
重量	18 g/m	0.012 lbs/ft		29 g/m	0.019 lbs/ft		60 g/m	0.040 lbs/ft		110 g/m	0.074 lbs/ft	
温度范围	-55~+125°C (-67~+257°F)			-55~+150°C (-67~+302°F)								
电气性能												
工作频率	26.5 GHz			18 GHz			13.5 GHz			13.5 GHz		
相位稳定性最大值(°)@工作频率	±8			±10			±5			±8		
幅度稳定性最大值(dB)@工作频率	±0.10			±0.10			±0.10			±0.10		
阻抗	50Ω											
屏蔽效率	>90dB											
传播速率	76%											
衰减与平均功率	衰减 (+25°C 室温) & 功率 (+40°C 室温; 海平面;驻波 1:1)											
频率 (MHz)	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW
1000	0.607	0.185	0.100	0.424	0.129	0.461	0.238	0.073	0.766	0.151	0.046	1.674
2000	0.874	0.267	0.070	0.606	0.185	0.323	0.343	0.105	0.532	0.218	0.067	1.155
4000	1.269	0.387	0.048	0.868	0.265	0.225	0.498	0.152	0.366	0.319	0.097	0.790
8000	1.861	0.567	0.033	1.250	0.381	0.156	0.729	0.222	0.250	0.473	0.144	0.534
10000	2.110	0.643	0.029	1.408	0.429	0.139	0.827	0.252	0.220	0.538	0.164	0.469
13500	2.504	0.763	0.024	1.654	0.504	0.118	0.981	0.299	0.186	0.642	0.196	0.393
18000	2.959	0.902	0.021	1.933	0.589	0.101						
26500	3.721	1.134	0.016									
其他频点衰减	dB/m= $\frac{K1*\sqrt{FMHz}+K2*FMHz}{100}$											
K1	1.8300000			1.3110233			0.7180000			0.4480000		
K2	0.0028000			0.0009680			0.0010880			0.0008980		

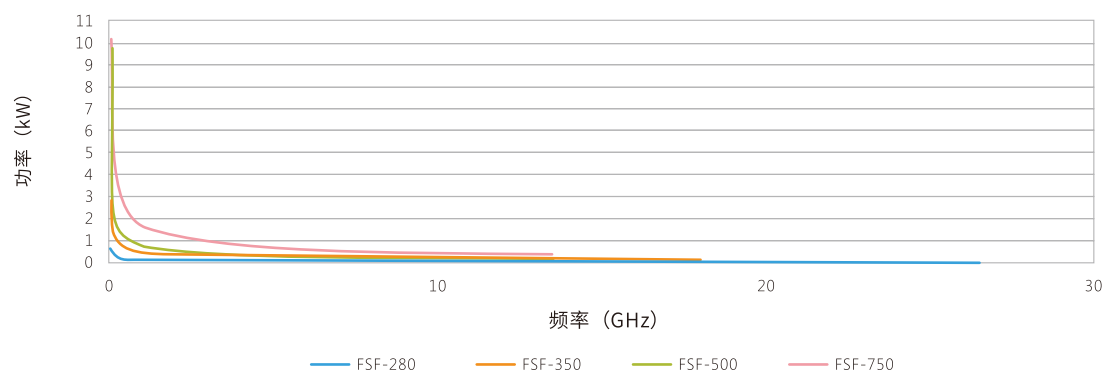


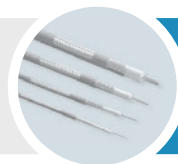


## 频率与衰减

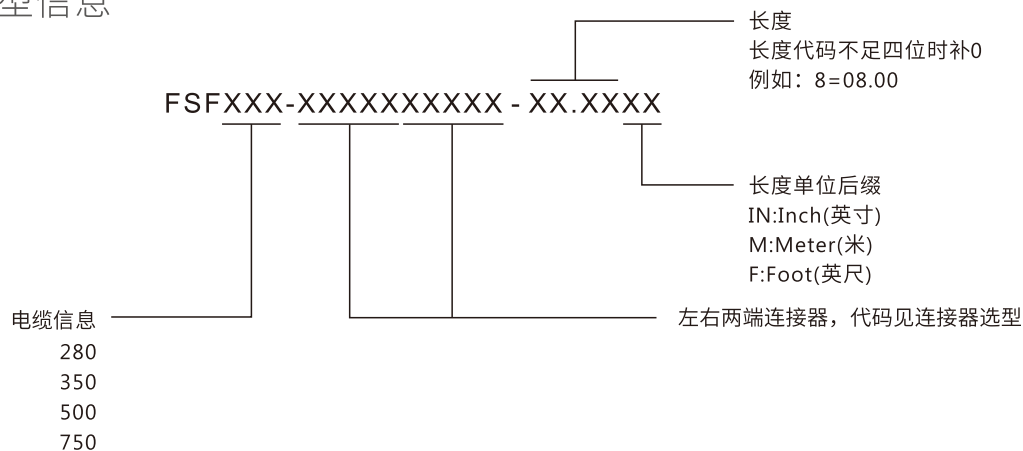


## 频率与功率





## 组件选型信息



例：FSF280-SMSM-01.00M

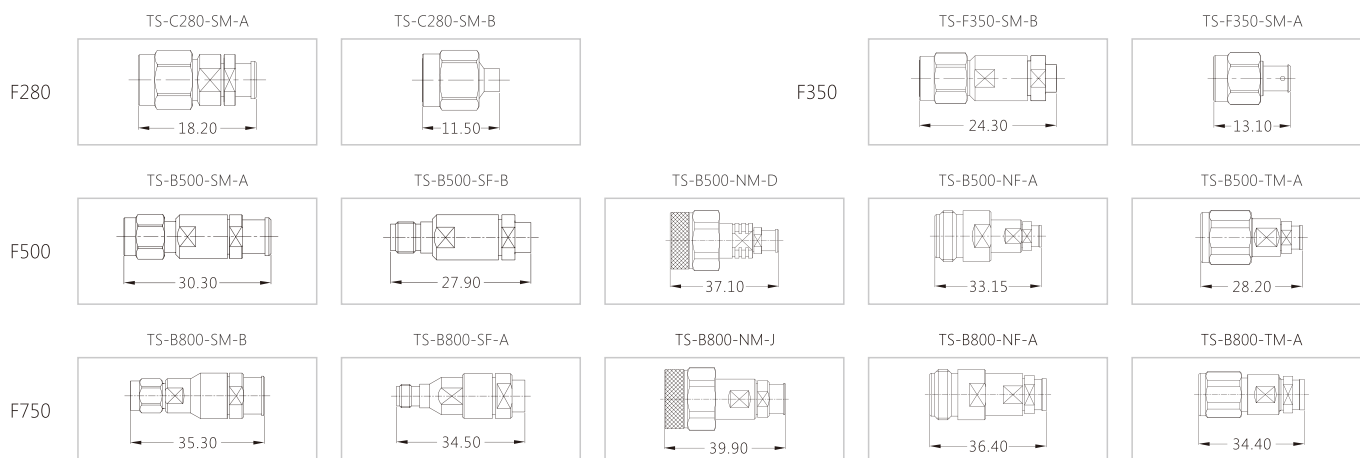
FSF-280电缆，左右两端采用SMA Male，组件长度1米

## 选型参考

连接器代码	连接器类型	工作频率	FSF-280	FSF-350	FSF-500	FSF-750	典型驻波	最大驻波
SSMPF	SSMP Female	40GHz	○				1.40	1.50
35M	3.5mm Male	26.5GHz			●		1.30	1.35
35F	3.5mm Female	26.5GHz			○		1.30	1.35
SM	SMA Male	26.5GHz	●		●		1.30	1.35
		18GHz		●		●	1.30	1.35
SMR	SMA Male Right Angle	18GHz		●	●		1.30	1.35
		14GHz	●				1.30	1.35
NM	N Male	18GHz			●	●	1.30	1.35
NMR	N Male Right Angle	12GHz			●		1.35	1.40
NF	N Female	18GHz			○		1.30	1.35
TM	TNCA Male	18GHz			○		1.30	1.35
SMPF	SMP Female	18GHz	●				1.30	1.35
SMPFR	SMP Female Right Angle	18GHz	●				1.35	1.40

●为常备库存，如需其他类型连接器，请联系翼波电子

## 连接器外形图



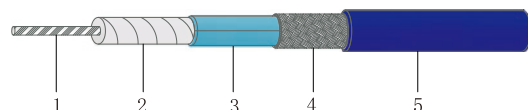
●免责声明：本手册所提供的产品信息仅供参考，具体以产品实际为准，最终解释权归嘉兴翼波电子有限公司所有。



## 产品特点

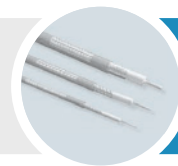
- 优良的幅度稳定性
- 优良的性价比
- 优良的柔软性

FSG系列是一款超柔经济型射频同轴电缆，可以满足客户对电缆柔软性和损耗的要求。该电缆中心导体采用19芯绞合导体，低密度PTFE介质，铝箔纵包，外导体镀银圆线编织，外护套PUR，该结构有良好的柔软性和性价比，特别适合较长距离的地面测试，野外测试系统互联，基站内互联。

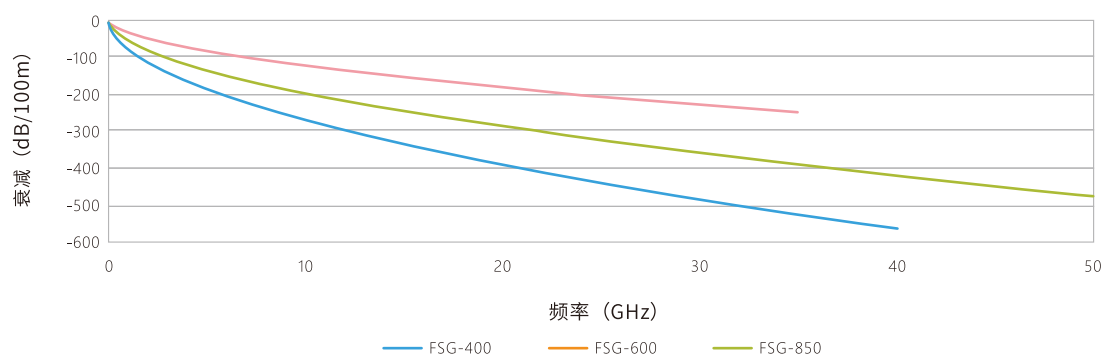


- |        |       |       |      |
|--------|-------|-------|------|
| 1 中心导体 | 绞合镀银铜 | 4 屏蔽层 | 镀银铜丝 |
| 2 电介质  | PTFE  | 5 护套  | PUR  |
| 3 外导体  | 自粘铝箔  |       |      |

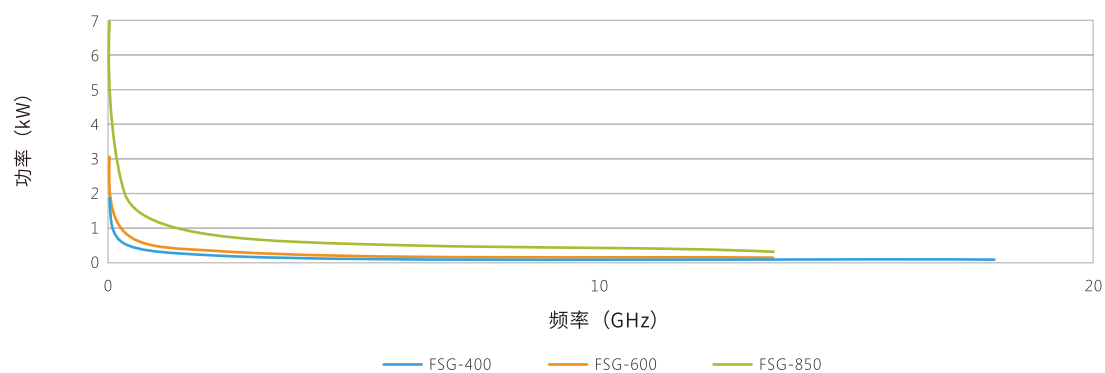
	FSG-400			FSG-600			FSG-850		
物理和机械性能									
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外护套	4.00	0.157		6.00	0.236		8.20	0.323	
最小弯曲半径, 安装	16	0.630		20	0.787		35	1.378	
最小弯曲半径, 重复	40	1.575		60	2.362		82	3.228	
重量	30 g/m	0.020 lbs/ft		63 g/m	0.042 lbs/ft		125 g/m	0.084 lbs/ft	
温度范围	-55~+85°C (-67~+185°F)								
电气性能									
工作频率	18GHz			13.5GHz			13.5GHz		
相位稳定性最大值(°)@工作频率	±10			±5			±5		
幅度稳定性最大值(dB)@工作频率	±0.1			±0.1			±0.1		
阻抗	50Ω								
屏蔽效率	> 90 dB								
传播速率	76%								
衰减与平均功率	衰减 (+25°C 室温) & 功率 (+40°C 室温; 海平面; 驻波 1:1)								
频率 (MHz)	dB/m	dB/Ft	kW	dB/m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/Ft	kW
1000	0.460	0.140	0.291	0.341	0.104	0.497	0.176	0.054	1.151
2000	0.672	0.205	0.199	0.492	0.150	0.344	0.253	0.077	0.800
8000	1.486	0.453	0.090	1.053	0.321	0.161	0.535	0.163	0.378
10000	1.699	0.518	0.079	1.196	0.365	0.142	0.606	0.185	0.334
18000	2.442	0.744	0.055						
其他频点衰减	$\text{dB/m} = \frac{K1 \cdot \sqrt{\text{FMHz}} + K2 \cdot \text{FMHz}}{100}$								
K1	1.3437405			1.0245600			0.5339645		
K2	0.0035500			0.0017130			0.0007236		



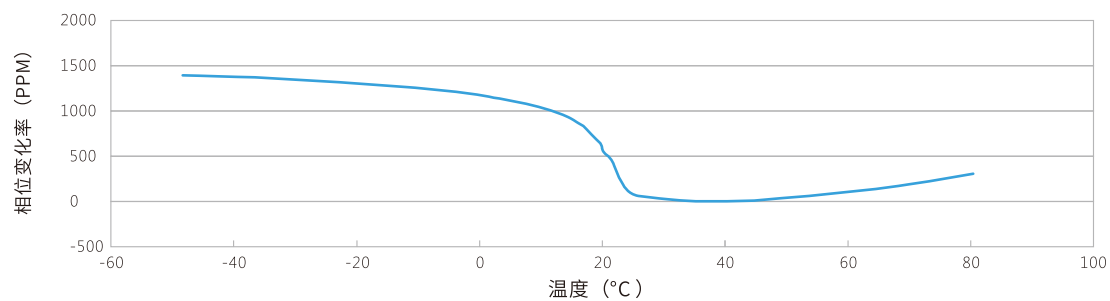
## 频率与衰减

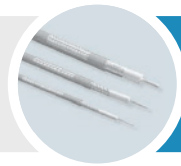


## 频率与功率

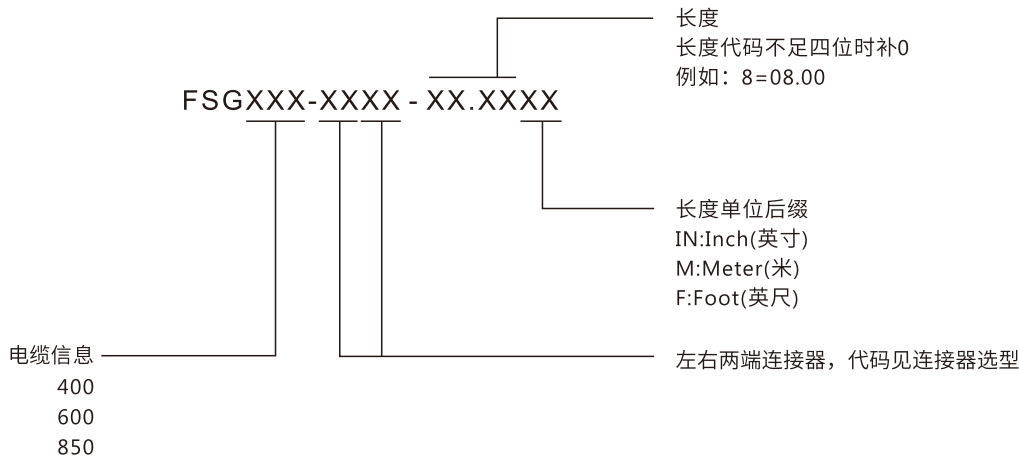


## 温度相位 (PPM)





## 组件选型信息

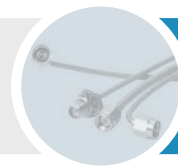


例：FSG400-SMNM-01.00M  
FSG-400电缆，左端采用SMA Male，右端采用N Male，组件长度1米

## 选型参考

连接器代码	连接器类型	工作频率	FSG-400	FSG-600	FSG-850	典型驻波	最大驻波
SM	SMA Male	26.5GHz	○			1.30	1.35
		18GHz		○	○	1.30	1.35
NM	N Male	18GHz	○	○	○	1.30	1.35

●为常备库存，如需其他类型连接器，请联系翼波电子



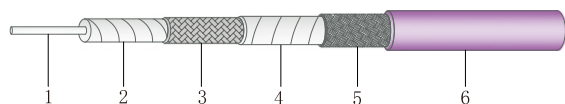
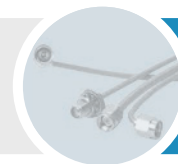
## 产品特点

- 卓越的弯曲相位、幅度稳定性
- 不锈钢外屏蔽层、抗拉强度高
- 三层屏蔽结构、良好的隔离度
- 不锈钢免焊连接器
- 任意弯曲并保持形状稳定

FSH系列产品具有卓越的弯曲性能、高强的电缆保持力及杰出的相位稳定性。其电缆组件可从连接器根部开始弯曲，完美替代直角弯式连接器。同时配上翼波特制短尾接头，将大大节约安装空间，让客户不再在线缆的合理布局与系统的整体尺寸的权衡中苦恼，助力客户轻松构建整洁精致的系统空间。与此同时，同传统的半刚电缆相比，FSH系列产品可根据现场应用灵活折弯，无须定制化的长度和折弯形状设计，极大的节约了工程资源及运输应用，从而降低客户的使用成本。此外，FSH系列组件连接器设计采用免焊工艺避免了电缆与连接器焊接部位的脆化及开裂现象，进一步为客户节约成本及减轻重量。

## 同类电缆替换表

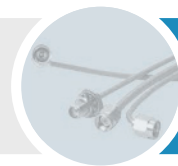
F+S	Astrolab minibend	MCC	GORE	TIMES	IW	HAROUR	SEMFLEX
FSH-250	32081						
FSH-360	32022						
FSH-260L	32024						



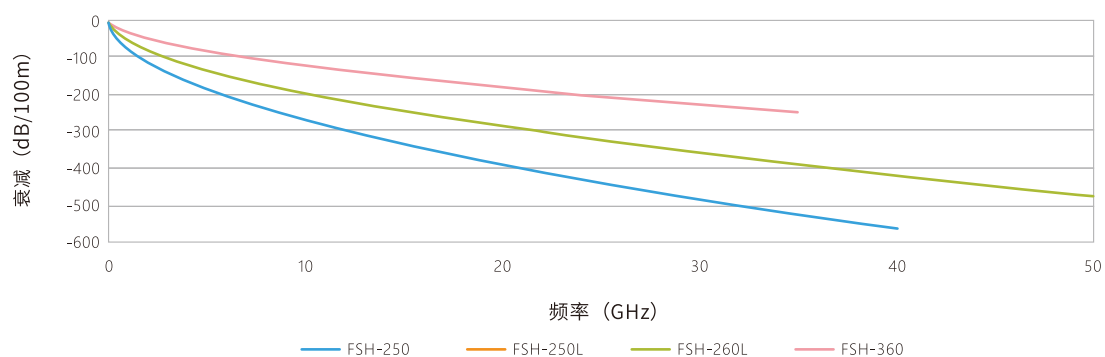
1	中心导体	镀银铜	4	中间层	铝箔
2	电介质	PTFE	5	屏蔽层	不锈钢丝
3	外导体	镀银铜带	6	护套	FEP

	FSH-250			FSH-250-L			FSH-260-L			FSH-360		
物理和机械性能												
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外护套	2.50	0.098		2.50	0.098		2.64	0.104		3.61	0.142	
最小弯曲半径, 安装	12.50	0.492		12.50	0.492		13.20	0.520		18.05	0.728	
最小弯曲半径, 重复	25.00	0.984		25.00	0.984		26.00	1.024		36.00	1.417	
重量	18 g/m	0.012 lbs/ft		16 g/m	0.011 lbs/ft		17g/m	0.011 lbs/ft		31g/m	0.021 lbs/ft	
温度范围	-55~+125°C (-67~+257°F)			-55~+165°C (-67~+329°F)								
电气性能												
工作频率	40 GHz			40.0 GHz			50.0 GHz			26.5 GHz		
相位稳定性最大值(°)@工作频率	±8			±8			±8			±8		
幅度稳定性最大值(db)@工作频率	±0.15			±0.15			±0.15			±0.15		
阻抗	50Ω											
屏蔽效率	> 90 dB											
传播速率	70%			74%			76%			76%		
衰减与平均功率	衰减 (+25°C 室温) & 功率 (+40°C 室温; 海平面; 驻波 1:1)											
频率 (MHz)	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW
1000	0.829	0.253	0.103	0.721	0.220	0.103	0.601	0.183	0.103	0.398	0.121	0.346
2000	1.180	0.360	0.073	1.029	0.314	0.072	0.858	0.262	0.072	0.567	0.173	0.243
4000	1.684	0.513	0.051	1.474	0.449	0.050	1.228	0.375	0.050	0.809	0.247	0.170
8000	2.412	0.735	0.036	2.121	0.647	0.035	1.768	0.539	0.035	1.159	0.353	0.119
10000	2.711	0.826	0.032	2.388	0.728	0.031	1.990	0.607	0.031	1.303	0.397	0.106
18000	3.697	1.127	0.023	3.275	0.999	0.023	2.729	0.832	0.023	1.778	0.542	0.078
26500	4.546	1.386	0.019	4.047	1.234	0.018	3.372	1.028	0.018	2.188	0.667	0.063
40000	5.682	1.732	0.015	5.088	1.551	0.015	4.240	1.293	0.015			
50000							4.809	1.466	0.013			
其他频点衰减	dB/m= $\frac{K1*\sqrt{FMHz}+K2*FMHz}{100}$											
K1	2.5808091			2.2320000			1.8600000			1.2380700		
K2	0.0013000			0.0015600			0.0013000			0.0006499		

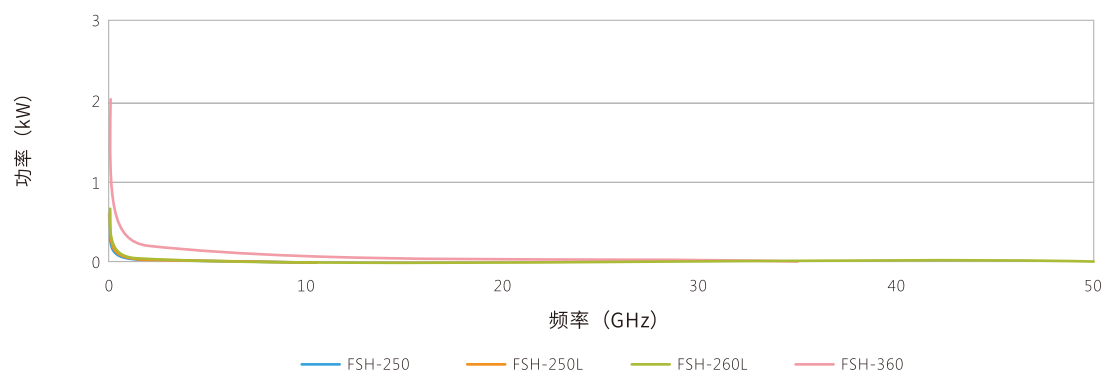


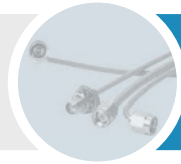


## 频率与衰减

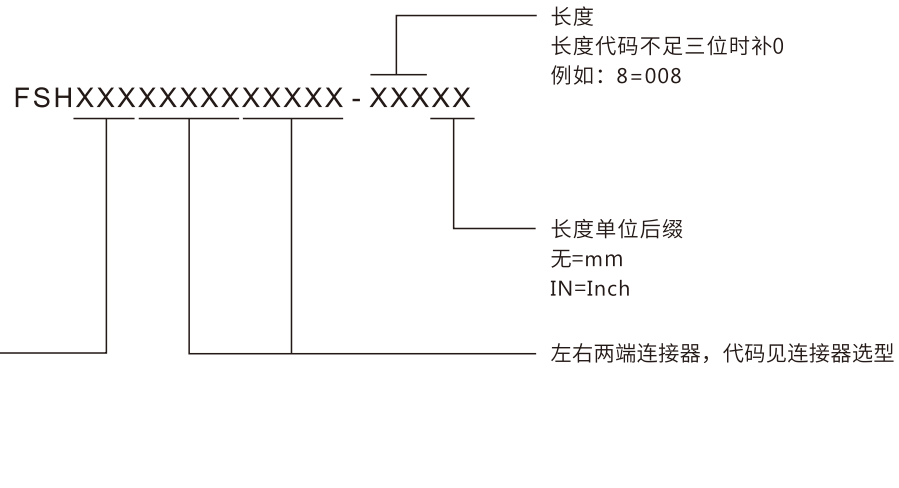


## 频率与功率





## 组件选型信息



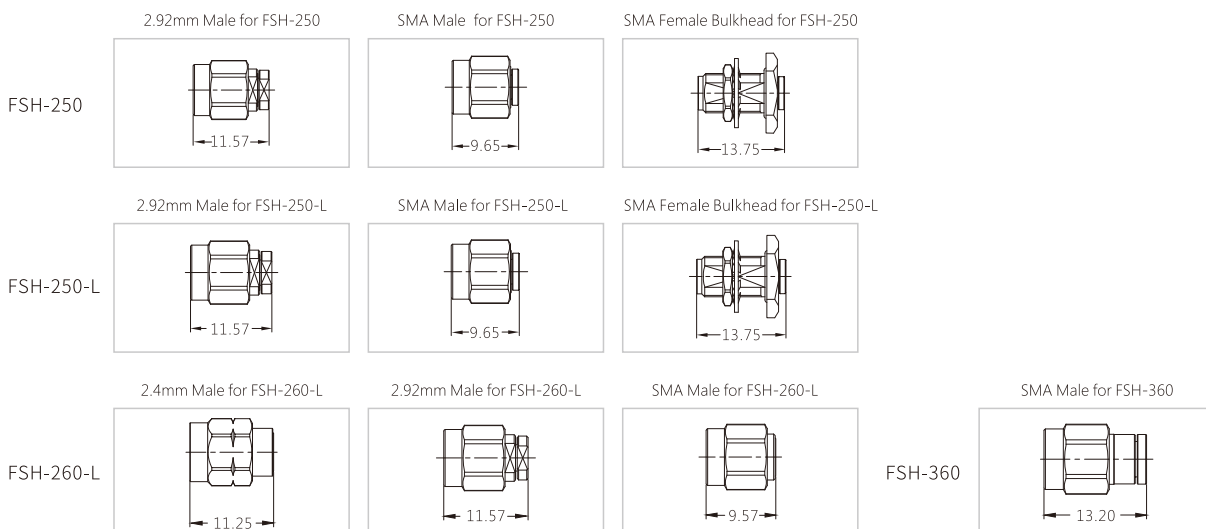
例：FSH2629M29M-300  
FSH-260-L电缆，左右两端采用2.92mm Male，组件长度300毫米

## 选型参考

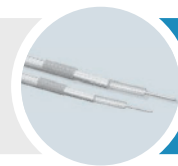
连接器代码	连接器类型	工作频率	FSH-250	FSH-250-L	FSH-260-L	FSH-360	典型驻波	最大驻波
24M	2.4mm Male	50GHz			●		1.30	1.35
24F	2.4mm Female	50GHz			○		1.30	1.35
29M	2.92mm Male	40GHz	●	●	●	○	1.25	1.30
29MR	2.92mm Male Right Angle	40GHz	○	○			1.30	1.35
SM	SMA Male	26.5GHz	●	●	●	●	1.25	1.30
SFBH	SMA Female Bulkhead	18GHz	●	●			1.25	1.30
NM	N Male	18GHz			○		1.25	1.30
SMPFR	SMP Female Right Angle	18GHz	○	○			1.30	1.35

● 为常备库存，如需其他类型连接器，请联系翼波电子

## 连接器外形图



● 免责声明：本手册所提供的产品信息仅供参考，具体以产品实际为准，最终解释权归嘉兴翼波电子有限公司所有。

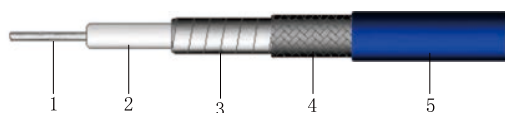
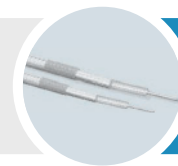


## 产品特点

- 质轻且柔软
- 优良温度相位稳定性
- 低插损
- 高功率处理能力
- 高性价比

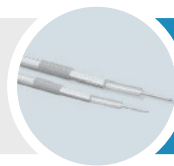
PT温度稳相低损电缆具有优良的机械及电气性能。在某些特殊应用中，对组件温度相位有着极高的要求。而设备自身及环境条件发生变化时，由于介质材料的介电常数、材料膨胀引起的结构变化、应力变化，稳相电缆组件实际电长度会发生相应的变化。为此，翼波秉着“为客户创造价值”的核心理念，研制具有优良的机械及电气性能的PT温度稳相低损电缆。

# PT | 产品规范

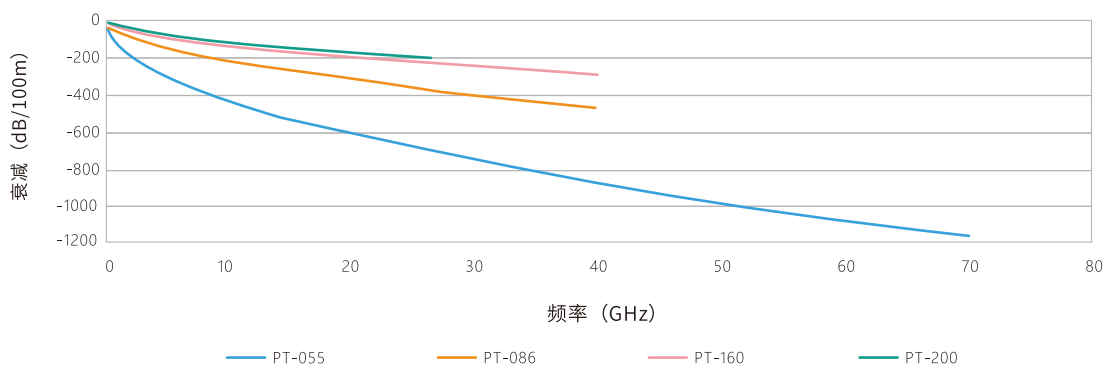


- |   |      |        |   |      |       |
|---|------|--------|---|------|-------|
| 1 | 中心导体 | 镀银铜    | 4 | 外层屏蔽 | 镀银铜丝  |
| 2 | 电介质  | 藕型F4介质 | 5 | 外护套  | 蓝色氟塑料 |
| 3 | 外导体  | 镀银铜带   |   |      |       |

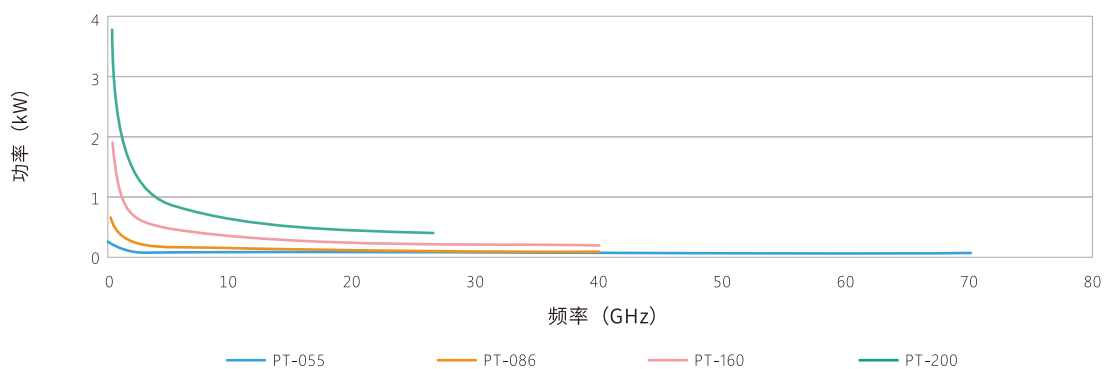
	PT-055			PT-086			PT-160			PT-200		
物理和机械性能												
尺寸	mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch		mm	Inch	
外护套	1.40	0.055		2.20	0.087		4.00	0.158		5.00	0.197	
最小弯曲半径,安装	7	0.280		15	0.591		24	0.950		25	0.790	
最小弯曲半径,重复	14	0.56		22	0.87		48	1.90		50	1.97	
重量	5.6 g/m	0.004 lbs/ft		13 g/m	0.009 lbs/ft		40 g/m	0.027 lbs/ft		57 g/m	0.038 lbs/ft	
温度范围	-55~+165℃ (-67~+329°F)											
电气性能												
工作频率	70 GHz			40 GHz			40 GHz			26.5 GHz		
幅度稳定性最大值(dB)@工作频率	±0.15			±0.15			±0.15			±0.15		
阻抗	50Ω											
屏蔽效率	>90 dB											
传播速率	80%			82%			82%			82%		
衰减与平均功率	衰减 (+25℃ 室温) & 功率 (+40℃ 室温, 海平面; 驻波 1:1)											
频率 (MHz)	dB/ m	dB/Ft	kW	dB/m	dB/ Ft	kW	dB/m	dB/ Ft	kW	dB/ m	dB/ Ft	kW
1000	1.357	0.414	0.061	0.663	0.202	0.163	0.388	0.118	0.509	0.325	0.099	1.006
2000	1.923	0.586	0.043	0.946	0.288	0.114	0.558	0.170	0.355	0.468	0.143	0.698
4000	2.726	0.831	0.030	1.356	0.413	0.079	0.806	0.246	0.246	0.679	0.207	0.481
8000	3.869	1.180	0.021	1.953	0.595	0.055	1.173	0.358	0.169	0.995	0.303	0.329
10000	4.332	1.321	0.019	2.200	0.671	0.049	1.327	0.405	0.149	1.128	0.344	0.290
18000	5.839	1.780	0.014	3.021	0.921	0.036	1.847	0.563	0.107	1.581	0.482	0.207
20000	6.161	1.878	0.013	3.200	0.976	0.034	1.962	0.598	0.101	1.681	0.513	0.194
26500	7.113	2.168	0.012	3.737	1.139	0.029	2.309	0.704	0.086	1.986	0.606	0.165
40000	8.782	2.678	0.009	4.704	1.434	0.023	2.944	0.898	0.067			
50000	9.850	3.003	0.008									
67000	11.456	3.493	0.007									
70000	11.718	3.573	0.007									
其他频点衰减	dB/m= $\frac{K1*\sqrt{\text{FMHz}}+K2*\text{FMHz}}{100}$											
K1	4.2735000			2.0475000			1.1823955			0.9810220		
K2	0.0005880			0.0015225			0.0014490			0.0014692		



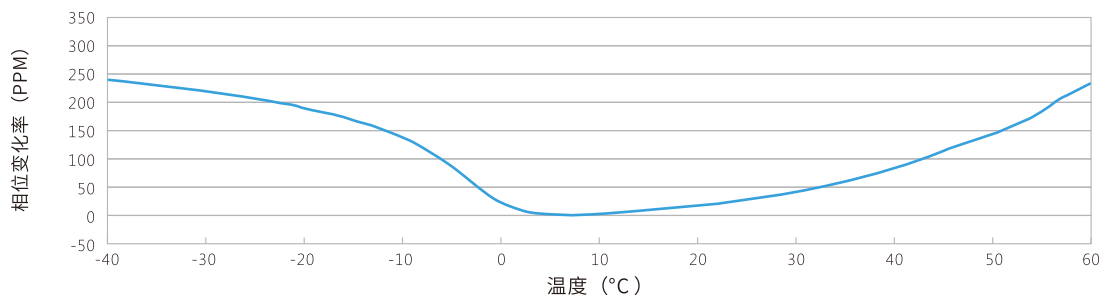
## 频率与衰减

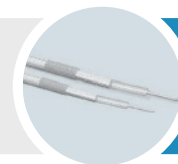


## 频率与功率

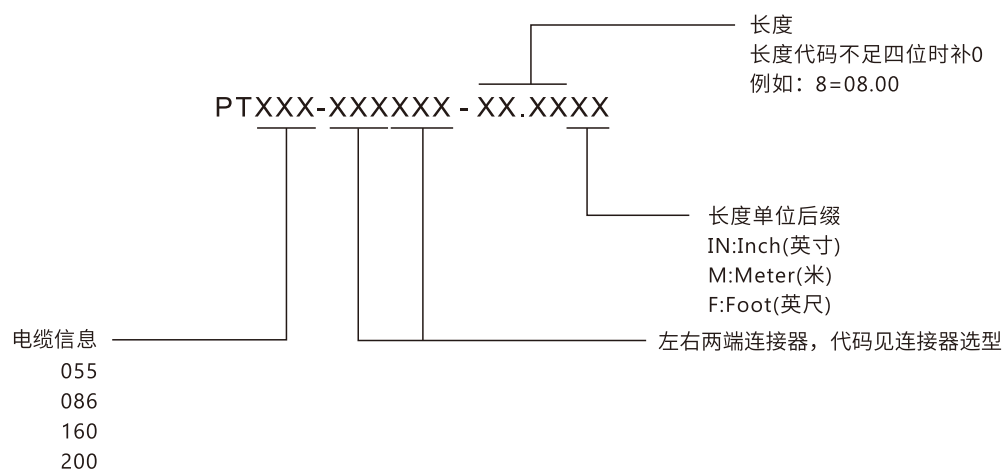


## 温度相位 (PPM)





## 组件选型信息



例：PT160-SMSM-01.00M

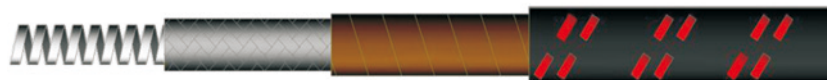
PT-160电缆，左右两端采用SMA Male，组件长度1米

## 选型参考

连接器代码	连接器类型	工作频率	PT-055	PT-086	PT-160	PT-200	典型驻波	最大驻波
18M	1.85mm MALE	67GHz	○				1.30	1.35
29M	2.92mm MALE	40GHz		○	○		1.25	1.30
35M	3.5mm MALE	26.5GHz		○			1.25	1.30
SM	SMA Male	18GHz	○	○	○	○	1.25	1.30
SF	SMA Female	18GHz	○				1.25	1.30

● 为常备库存，如需其他类型连接器，请联系翼波电子

## 超柔铠装方案



特点				典型应用				
超柔 防水 抗压抗扭 耐高温				实验室测试				
产品类别	FSK-121		FSK-108		FSK-107		FSK-109	
结构尺寸	mm	Inch	mm	Inch	mm	Inch	mm	Inch
钢铠内径	3.00	0.118	4.10	0.161	5.70	0.224	8.50	0.335
钢铠外层	3.60	0.142	4.80	0.189	6.60	0.260	9.30	0.366
编织层	3.95	0.156	5.25	0.207	7.11	0.280	9.75	0.384
防水层	4.09	0.161	5.50	0.217	7.35	0.289	9.85	0.388
PTFE编织护套	4.65	0.183	6.00	0.236	7.95	0.313	10.40	0.409
最小弯曲半径	11.5	0.453	21	0.827	30	1.181	36.5	1.437
抗压力（N/5cm）	1000		1000		1000		700	
温度范围	-55°C/125°C（-67°F/257°F）							
适用电缆	FSB-220		FSB-360		FSB-500		FSB-800	
	FSB-230		Gore 3507		Gore 3449		Gore 3450	
	Gore 3506							

## 柔性铠装方案

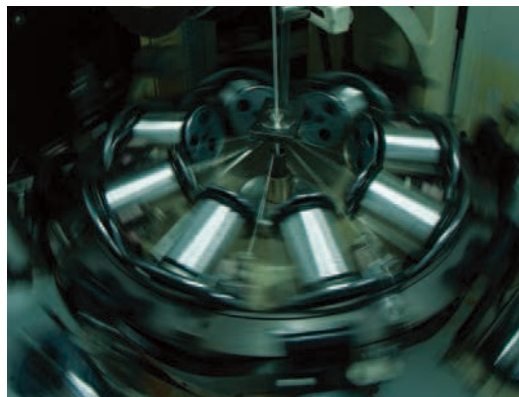
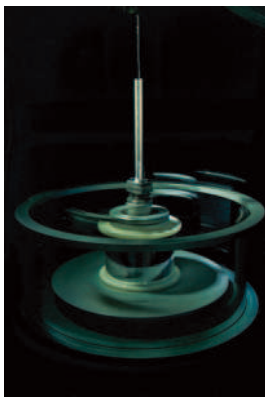
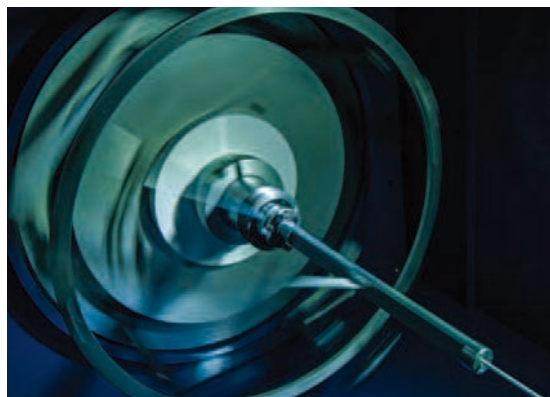


特点				典型应用				
柔软 耐压 耐磨 耐切割 耐高温				野外测试 野外军用设备				
产品类别	FSK-110		FSK-127		FSK-101		FSK-106	
结构尺寸	mm	Inch	mm	Inch	mm	Inch	mm	Inch
不锈钢双扣管内径	6.20	0.244	10.00	0.394	6.20	0.244	10.00	0.394
不锈钢双扣管外径	8.40	0.331	12.50	0.492	8.40	0.331	12.50	0.492
抗扭层	8.97	0.353	13.22	0.520	8.85	0.348	13.22	0.520
PUR护套	10.80	0.425	15.75	0.620	10.00	0.394	14.50	0.571
最小弯曲半径	40		60		40		60	
抗压力（N/5cm）	2000		2000		2000		2000	
温度范围	-55°C/85°C (-67°F/185°F)				-55°C/125°C (-67°F/257°F)			
适用电缆	FSB-500		FSB-800		FSB-500		FSB-800	
	Gore 3449		Gore 3450		Gore 3449		Gore 3450	

# 射频电缆知识



射频电缆的材料和工艺，决定着射频电缆的性能。翼波电子深刻理解射频电缆的材料和工艺，公司选用了国际上最具优势的材料和先进的生产工艺，现代化的恒温恒湿车间，确保了产品的质量、技术水平和产品的一致性。



## 中心导体

翼波电子严格按照ASTM标准制定原材料的采购规范，公司提供如下材料的中心导体。

单芯镀银铜—低损耗，高功率

绞合镀银铜—更柔软，相位稳定

无氧铜—低成本



## 介质层

翼波电子深刻理解介质层作为射频电缆的核心材料，各种材料的温度特性，介电常数，介质损耗角等特性对电缆性能的影响。公司选用国际最知名公司的最先进的介质材料

**固态PTFE—温度(-65°到125°)；速率(70%)**

**ND-PTFE—温度(-65°到200°)；速率(76%)**

**LD-PTFE—温度(-65°到165°)；速率(83%)**

**发泡FEP—温度(-65°到150°)；速率(83%)**

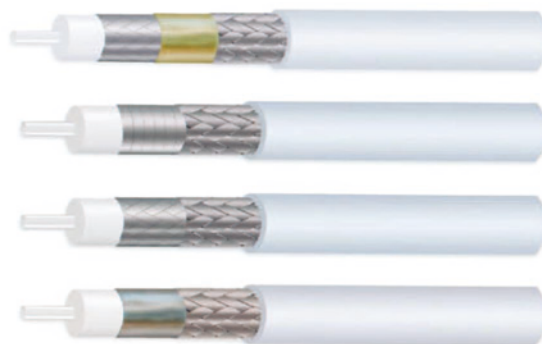




## 外导体

翼波电子可以提供三种结构的外导体，每种结构的外导体都代表行业的先进水平；同时，公司严格控制材料的标准和质量，选用先进的生产工艺，确保了产品的高质量、高可靠性和批次一致性。

- 镀银铜带编织—低损耗，低驻波，高弯曲寿命
- 镀银铜带绕包—超低损耗，相位与幅度稳定
- 纵包铝箔—低成本，低损耗



## 屏蔽层

扁平编织外导体+铝箔绕包+镀银铜丝编织

- 三屏蔽，抗扭曲，可靠性高

镀银铜带绕包外导体+镀银铜丝编织

- 低损耗，100%覆盖

镀银扁线编织外导体+镀银铜丝编织

- 重量轻，柔软性好

纵包铝箔外导体+镀锡铜丝编织

- 低成本，低损耗



## 外护套

翼波电子选用美国知名公司的FEP材料作为外护套，可根据客户提供PFA，ETFE，TPE等护套材料

- FEP—高温（-65到200℃），
- 防潮，耐腐蚀，阻燃



选择最好的同轴电缆需要对电缆的结构、性能和应用等充分的理解。最好的选择是即满足了工程设计需要，又平衡了整个工程的成本。翼波电子对电缆的深刻理解，能够帮助你做出最好的选择。

翼波电子是提供高端射频电缆的专业厂家，我们有丰富的射频电缆系列，可以满足您的大部分需求。同时，我们可以根据您的工程设计需要，专门设计满足您需求的产品。

为了更好的选择射频电缆，我们需要对射频电缆的一些参数进行了解。下面的章节我们一起对射频电缆的一些参数进行探讨。就下表清单中的参数进行一下详细的分析。

1.特征阻抗	4.衰减稳定性（机械幅度）	7.传播速率	10.截止频率
2.电压驻波比与回波损耗	5.温度相位	8.平均功率	11.工作温度
3.衰减与损耗	6.相位稳定性（机械相位）	9.电容	

## 1 特征阻抗

特征阻抗的大小由同轴电缆的外导体与内导体直径的比值和两个导体之间绝缘介质的介电常数所决定。因为射频能量总是在射频电缆的导体表面传输，所以导体的直径是指内导体的外径和外导体的内径。阻抗的选择通常是匹配整个系统。

同轴电缆最常用的阻抗是50和75欧姆。其他从35到185欧姆也有时候用到。在微波和无线电传输中主要选用50欧姆，有线电视和视频监控系统中主要选用75欧姆。85和100欧姆主要用在数据传输系统中应用。

为了使系统的匹配而得到更好的传输性能，电缆阻抗的选择必须匹配系统中其他元器件的阻抗。通常阻抗的分类主要是根据系统功率要求和衰减要求而综合平衡的长期实践的结果。如图1所示，75欧姆阻抗的传输系统中的衰减最低，而35欧姆阻抗系统可以传输最高的功率。

在选择射频电缆时，最首要的就是根据系统的阻抗来选择电缆的阻抗。

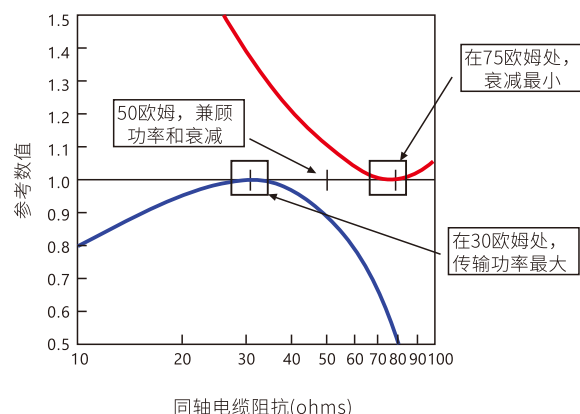


图1 阻抗与衰减和功率关系

## 2 电压驻波比和回波损耗

当射频能量通过射频电缆组件传输时，将发生以下三种情况：

- 能量传输到组件的另外一端，这通常是我们期望的；
- 能量在通过电缆时转变成热量散发掉和泄露掉；
- 能量反射回信号的发射端口。

电压驻波比和回波损耗就是用来衡量反射信号的大小。其定义就是由于阻抗不匹配而造成的反射信号的总和。电压驻波比是通过反射信号的波峰与波谷的比值而得来的，而回波损耗是通过衡量反射回源的功率与输入功率的比值的对数计算出来的。电压驻波比，回波损耗，反射系数和匹配效率可以通过表1查得。另外，从这个表中我们也可以看出，驻波比带来的能量的损失非常小，如驻波比为1.3的情况下，能量的损失仅为1.7%，相当于损耗为0.075dB带来的能量损失。

驻波或者回波损耗的产生主要是由于阻抗的不匹配而产生的。射频信号在传输过程中遇到阻抗的变化会产生反射，根据阻抗的变化大小可以计算出反射系数，从而可以计算出驻波比的数值。图2说明了驻波比产生的原因和计算方法。

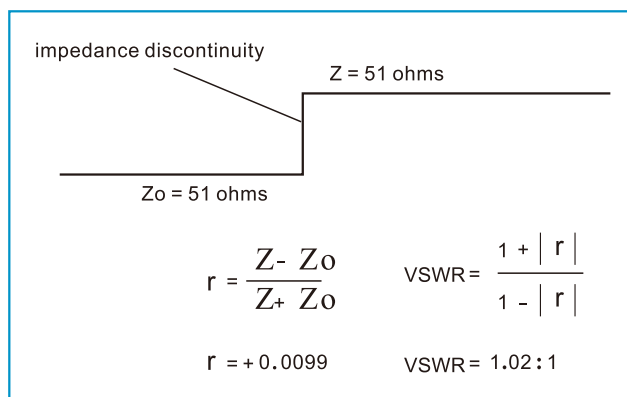


图2 驻波比与阻抗变化的关系

这种造成驻波的阻抗不一致性主要是来自电缆组件的连接器和连接器的安装，连接器本身因为要兼顾界面标准和电缆结构尺寸，会存在一些台阶，这些台阶会造成阻抗的跳变，好的连接器设计可以通过补偿消除一部分跳变而获得较好的驻波比。但都无法彻底消除这些阻抗跳变，所以，连接器及安装通常是驻波偏高的主要影响因素。当然，电缆本身也会影响驻波。我们从图3中可以看出同样一根电缆组件的驻波在通过网络分析仪的“门”功能去除连接器部分驻波变化情况。

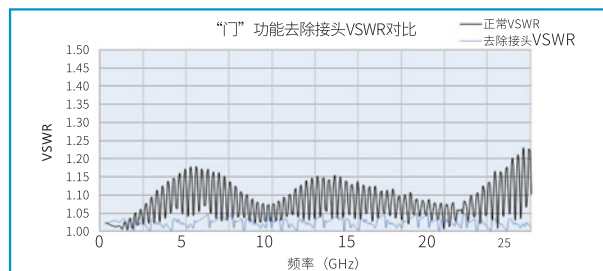


图3 “门”功能去除接头驻波比

另外，我们从电缆组件的电压驻波比的波形中也可以看出，由于阻抗匹配造成的反射点主要来自于连接器处。我们可以通过计算得出，驻波比波形的带宽换算成波长正好等于电缆组件的长度，也就是说连接器造成了以组件长度为波长的带宽的驻波高点。从另一方面，我们可以得出为什么长电缆组件的驻波比的波形比较窄，而短电缆组件的驻波比的波形比较宽，这就是因为以电缆组件长度为波长的带宽频率不一样造成的。图4展示了不同长度组件的电压驻波比的波形情况。

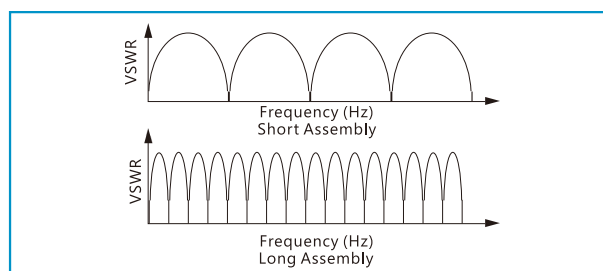


图4 长电缆组件与短电缆组件的波形

如果电缆的阻抗出现有规律的周期性变化，会导致电缆组件的驻波比在某一固定频率下出现一个很高的尖峰。如图5所示。而这个尖峰的高低同电缆组件的长度有直接关系，组件越长，尖峰越高。

另外，如果尖峰出现在高频率点，短的电缆组件也很明显。这是因为造成回波的周期性叠加的数量越多而导致的。驻波比的尖峰是各个电缆生产厂家比较头疼的问题，这是设备的精度，材料和工艺有直接的关系。通常一些厂家根据客户需要采用“移峰”技术来满足客户在某一带宽良好的驻波比。

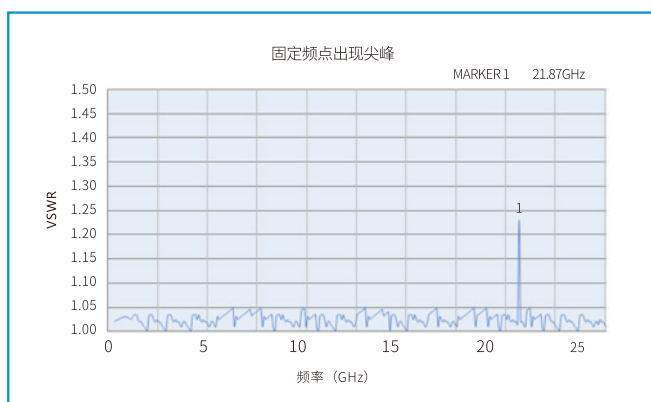


图5 电缆组件驻波尖峰

为了获得良好的驻波比，接头设计必须匹配电缆，接头安装必须牢固精确，测试设备和测试系统需要良好的校准。通常电缆和连接器的专业厂家可以提供更低的驻波比产品。

驻波比 (:1)	回波损耗(dB)	反射系数	不匹配损耗(dB)	匹配效率(%)
1.01	46	0.005	0.000	100.00
1.02	40	0.010	0.0000	99.99
1.03	37	0.015	0.001	99.98
1.04	34	0.020	0.002	99.96
1.05	32	0.024	0.003	99.94
1.06	31	0.029	0.004	99.92
1.07	29	0.034	0.005	99.89
1.08	28	0.038	0.006	99.85
1.09	27	0.043	0.008	99.81
1.10	26	0.048	0.010	99.77
1.12	25	0.057	0.014	99.68
1.14	24	0.065	0.019	99.57
1.16	23	0.074	0.024	99.45
1.18	22	0.083	0.030	99.32
1.20	21	0.091	0.036	99.17
1.22	20	0.099	0.043	99.02
1.25	19	0.111	0.054	98.77
1.30	18	0.130	0.075	98.30
1.35	17	0.149	0.097	97.78
1.38	16	0.160	0.112	97.45
1.44	15	0.180	0.144	96.75
1.50	14	0.200	0.177	96.00
1.59	13	0.228	0.231	94.81
1.68	12	0.254	0.289	93.56
1.80	11	0.286	0.370	91.84
2.00	10	0.333	0.512	88.89
2.20	9	0.375	0.658	85.94
2.40	8	0.412	0.807	83.04
2.60	7	0.444	0.956	80.25
3.20	6	0.524	1.393	72.56
3.80	5	0.583	1.806	65.97
4.80	4	0.655	2.436	57.07
5.83	3	0.707	3.011	49.99

表1 驻波比、回波与匹配损耗和效率

## 3 衰减和损耗

损耗是指信号在电缆组件中传输过程中的能量损失。当射频信号在电缆组件的传输过程中，一部分能量转变成热量消耗掉，一部分能量通过电缆的外导体泄露出去。这两部分能量的损失之和称之为损耗，或者叫做衰减。通常用单位长度在某一固定频率点的dB值来表示，因为损耗是随着频率的升高而增大的。

对于一个射频系统，损耗通常有着严格的指标，毕竟损耗对能量的损失非常大，3dB的衰减对能量的损失为50%。所以说，降低电缆和电缆组件的损耗对于射频系统来说非常重要。通过选择低损耗的电缆而增加的成本远远小于因选择高损耗电缆而增大功放的成本。

衰减的大小取决于导体和介质的损耗。从某种程度上看，同轴电缆的损耗类似于电力电缆的直流电阻。粗的电缆因为导体更粗，从而导体的损耗更低，从而降低了整个电缆的损耗。而介质的损耗同电缆的大小无关。介质的损耗同频率变化成线性关系，而导体的损耗同频率的平方根成线性关系。因此，介质损耗所占的比重随着频率的增加而逐步增大。图6是嘉兴翼波的FSB-800电缆的导体和介质的损耗的关系图。

影响衰减的因素有很多，可以分成材料因素和工艺因素。

从材料因素上看，主要影响衰减的因素如下项目：

- a. 内导体结构（单芯和绞合）；
- b. 外导体结构（编织和绕包）；
- c. 导体材料（电导率的不同）；
- d. 介质材料。

下面我们以嘉兴翼波公司的FSA-460和FSD-141电缆为例，详细介绍一下材料对损耗的影响。

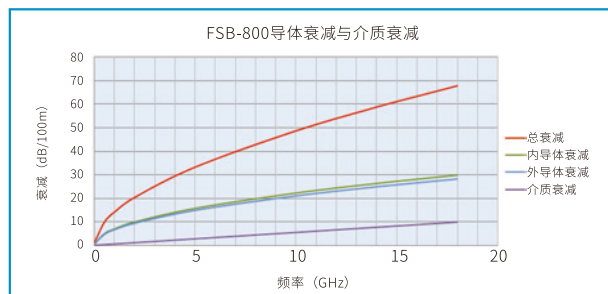


图6 FSB-800损耗分类图

### 3.1 内导体结构对衰减的影响

在设计同轴电缆的时候，有时候会根据客户对电缆柔软度的需求，选择单芯导体或者多芯导体，多芯导体对比单芯导体更加柔软。但是选择了柔软性，同样尺寸和结构的电缆会牺牲了一部分损耗。这主要是因为导体表面的不圆整而导致的表面电阻的增大。

图7是以翼波电子的FSA-460为例，将中心导体换成19芯绞合导体后的损耗的对比。从图上我们可以看出，将中心导体换成多芯后增加的损耗非常明显。增加的衰减幅度约为10%左右。

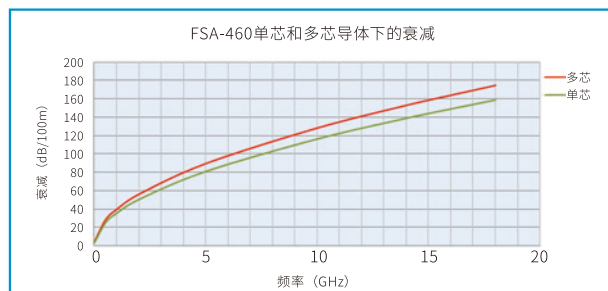


图7 FSA-460单芯导体和多芯导体衰减

### 3.2 外导体结构对衰减的影响

外导体结构相对于内导体的结构有着更丰富的选择。对于柔性电缆，通常有镀银圆线编织、镀银扁平线编织，镀银铜带绕包。镀银圆线编织是最传统的RG电缆的基本结构，成本非常低廉；镀银圆线是上个世纪60年代发明的结构，这种结构衰减相对低，弯曲的稳定性好，高温特性也比较稳定；而镀银铜带绕包结构是上个世纪80年代发明的结构，其特点是超低损耗、极佳的机械相位，但是成本也是最高的一种结构，对生产工艺要求也比较苛刻。该结构目前比较主流的军用电缆结构。

图8是以翼波电子的FSA-460为原型，将外导体换成镀银圆线编织和镀银铜带绕包结构后的衰减对比图。从对比中可以看出，镀银铜带绕包比镀银扁线编织损耗会好约20%。而镀银圆线编织受编织丝的直径，根数和编织机锭数的影响，会有一些变化。

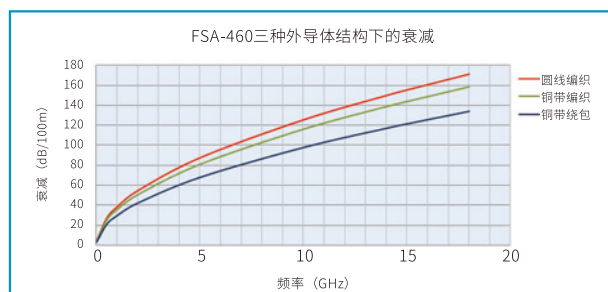


图8 FSA-460不同外导体下的衰减

### 3.3 导体材料对衰减的影响

对于同轴电缆，目前主流的导体材料有镀银铜，无氧铜和铝三种。对于高端电缆，主要采用铜材和镀银铜两种材料。铜材采用铜包铝以降低重量和成本，因为射频信号的“趋肤效应”，信号只在导体的表面传输，所以镀银铜或者铜包铝可以考虑成银的电导率和铜的电导率，电导率的大小会影响电缆导体的衰减。对于镀银铜导体的镀银厚度，翼波电子严格选用按照ASTM标准的镀银厚度以确保电缆在全频段下的衰减。

图9是翼波电子的FSA-460为例，将中心导体换成无氧铜，外导体换成无氧铜扁线编织。得到的衰减指标与标准的FSA-460对比。从对比中可以看出，将内外导体换成无氧铜，增加的衰减还是比较大的，约15%左右。

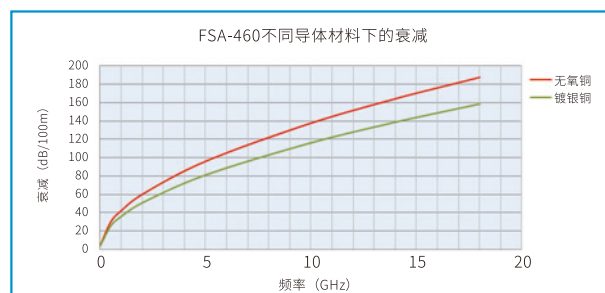


图9 FSA-460不同导体材料下的衰减

### 3.4 介质材料对衰减的影响

同轴电缆的导体材料也有比较丰富的选择，从军用电缆上看，主要有固态PTFE材料，低密度PTFE材料。固态PTFE材料是传统RG系列电缆的主打材料，相对工艺比较简单，成品率高，目前主要用在民品上，尤其是手机通讯中的智能天线上大量采用。而低密度PTFE材料，也就是微孔PTFE材料是美国GORE公司发明的材料，PTFE经过拉伸后在保持原有PTFE材料的特性外，大大提升了材料的电气性能，同时又显著的降低了材料的重量，目前军用射频电缆大部分采用低密度PTFE材料。按照材料密度的不同，低密度PTFE又分成76%和83%传输速率两种。

图10是以翼波电子的半刚电缆FSD-141为例，详细说明了三种不同介质对电缆损耗的影响。将传统的固态PTFE推挤芯线的141半刚电缆换成低密度PTFE介质的电缆，同等外径的情况下，损耗会提升约30%。而对于76%速率和83%速率的比较，从衰减上看，基本上没有明显区别。另外，衰减受生产工艺的影响也比较大，介质绕包，材料氧化，编织工艺等都会对衰减产生一定的影响，良好稳定的生产工艺，是保证电缆批次衰减稳定性重要手段。同时，电缆在储存过程应保证电缆两端密封，并处于室温和较低的湿度条件下，避免电缆因氧化和受潮而引起的衰减增大。

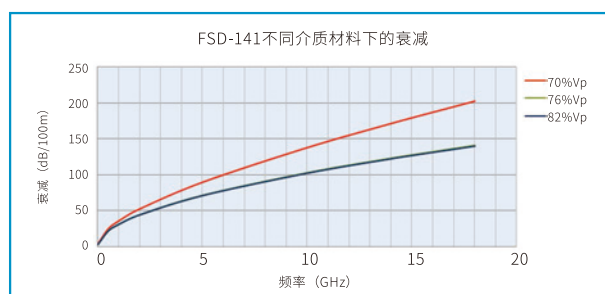


图10 FSD-141不同介质材料的衰减

### 3.5 温度对衰减的影响

衰减通常是在室温25°C下测量，温度的变化对衰减有影响，可以通过修正系数修正。温度对衰减的影响主要是因为导体的电阻随着温度的增加和介质的功率因数的增加而导致的。图11是上海翼波公司的FSB-330-P电缆衰减随温度变化的曲线。从图上可以看出，衰减同温度的变化基本上成线性关系。在室温处因PTFE的裂变过程由于一个小的拐点，基本上可以忽略不计。每种电缆结构的衰减曲线的斜率略有不同，建议同厂家获得比较全面的数据。

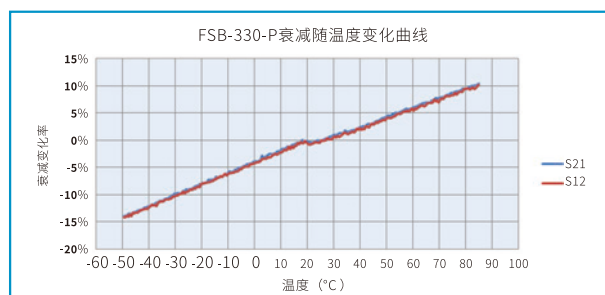


图11 衰减随温度变化曲线



## 4 衰减稳定性

衰减稳定性是指电缆组件衰减沿着电缆动态弯曲半径旋转一周后衰减的变化值。国外常称之为幅度稳定性，在GB 17738.1中成为插入损耗稳定性，该标准中对测量方法进行了详细的定义。

衰减稳定性对电缆组件至关重要，衰减稳定性会影响射频系统的精度。衰减稳定性的大小主要取决于电缆的加工工艺，在这个方面，每个厂家都有自己独特的经验和技巧。通常情况下，镀银铜带绕包结构比镀银扁线略好一些，但是随着弯曲次数的增加，镀银铜带绕包的可靠性远不如镀银扁线编织的结构稳定。另外，单芯中心导体的衰减稳定性要比多芯的稳定一些。但是最关键的是电缆的加工工艺的影响最大。图12是翼波电子对FSB系列多次测试给出的最大结果。

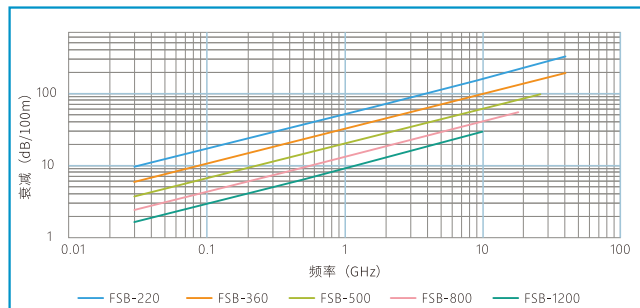


图12 FSB系列电缆衰减稳定性

## 5 温度相位

温度相位，在GB-17738.1中称之为“相位随温度的变化”，是指电缆组件在工作温度范围内工作时，确定由电长度变化而引起的相位变化。在GB-17738.1中有详细的测量方法。

我们知道，雷达系统在探测目标时，是通过接收到发射出去并返回系统的信号时间来确定目标的方位的。发射和接收电磁波信号都需要通过同轴电缆来执行，但是如果一个雷达系统的不同TR单元的同轴电缆组件的电气长度不同，这就导致了接收时间因在电缆组件中的传输时间不一致而导致了整个雷达系统的定位精度。所以说，温度相位变化的大小对某些射频系统的精度非常重要。

温度相位产生的主要原因是材料的热胀冷缩而引起电缆的物理长度的变化，从而引起的电长度的变化。对于同轴电缆来讲，主要是铜导体的热胀冷缩和介质材料的热变形而综合而来的电长度的变化，也就是说，由于构成同轴电缆的导体材料主要采用镀银铜材料，那么引起温度相位的差异主要是由于介质材料引起的。我们通过图13看出不同介质材料对温度相位的影响，从图上我们可以看出，随着介质材料传播速率的增大，也就是说介质材料中空气成分的增多，温度相位的变化明显下降。

对于温度相位，由于最终应用需要多根电缆组件同时使用。在这种情况下，还需要考察同一款电缆不同电缆组件之间的温度相位变化的一致性。另外，同一根电缆在温度变化从低到高的变化和温度从高到低的变化也略有不同，也就是温度变化的重复性。如需要详细了解这些数据，可以同厂家联系，厂家可以提供详细测试数据。

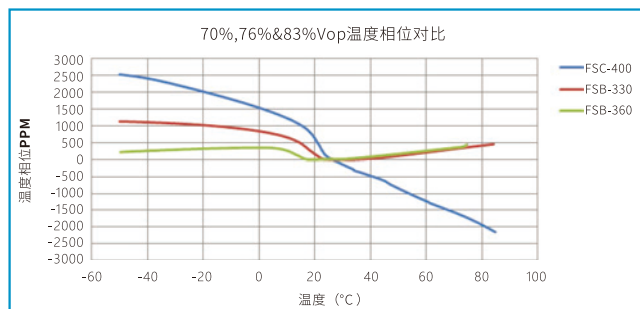


图13 不同速率介质的温度相位

## 6 相位稳定性

相位稳定性，也叫做机械相位，是指电缆在物理弯曲过程中，相位度数的变化的大小。这个是考察电缆精度和稳定性的一项重要指标。

机械相位主要同电缆在加工过程中的生产工艺有关，同电缆的结构也略有影响。通常情况下，小直径的电缆比大直径的电缆机械相位更好一点，绞合导体的机械相位比单芯导体的机械相位稍好一点。图14是FSB系列的三款电缆的机械相位，测试方法是沿着电缆的最小弯曲半径旋转360°而得到的测试结果。

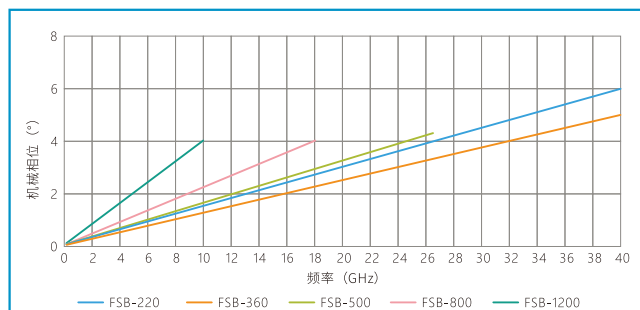


图14 FSB系列机械相位

## 7 传输速率

传输速率是指电磁波在介质中的传输速度与光速的百分比。对于同轴电缆来讲，主要取决于同轴电缆中心导体和外导体之间的介电常数。同时，传播速率同电缆的时延有对应关系，三者之间可以通过公式相互转换。

传输速率的一致性也非常重要，尤其是在生产相位匹配的电缆组件时，传输速率的一致性将对相位匹配电缆的物理长度和电长度的匹配性产生直接的影响。

另外，在选择用于延时线的电缆时，在衰减能满足要求的情况下，尽量选择低传播速率的电缆，以降低产品长度和成本。

## 8 平均功率

同轴电缆在传输信号时，电缆的衰减在同轴电缆内外导体之间产生热量。电缆的功率处理能力主要体现在电缆承受这个因衰减产生热量的能力。影响电缆平均功率的最重要的因素有两个：一是电缆的最高工作温度；二是电缆本身的衰减。也就是说，当电缆的衰减越好，电缆本身产生的热量也就越小，电缆承受的功率也就越大；同时，在同等条件下，电缆所能承受的工作温度越高，电缆所能承受的功率越大。

在要求苛刻的场合，在考虑有效平均功率的时候，还需要考虑环境温度，环境温度的高低直接影响到电缆的散热能力，从而直接影响电缆的传输功率。图15是对PTFE介质电缆不同环境温度的影响因数。在工程应用时需要考虑。

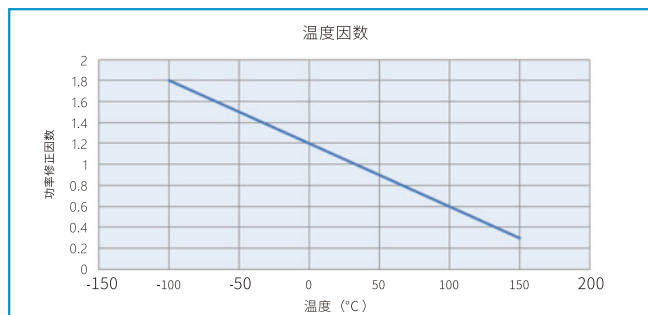


图15 平均功率温度影响因数

## 9 电容

同轴电缆的电容同电缆的介电常数和电缆的特征阻抗相关，一旦这两个参数确定了，电缆的电容就已经确定了。电容同电缆的结构、尺寸都没有关系。在用交流电压测量介质耐压的时候，需要考虑考虑电缆的电容值，随着电缆长度增长，电容值增大，这样漏电流增大，所以建议用直流测量或者测量短电缆。

## 10 截止频率

同轴电缆的截止频率是指在某个频率点以下时能量能够传输。当信号频率低于这个截止频率时，信号可以通过；当信号频率高于这个截止频率时，信号输出将被大幅衰减。截止频率同电缆的导体直径和传播速率有关，电缆直径越大，电缆的截止频率越低。在高于截止频率时，VSWR和衰减并不是显著增大，但是我们还是强烈建议选择电缆一定要在截止频率以下。

## 11 工作温度

电缆的工作温度取决于用于电缆的介质材料和护套材料。另外，只有镀银导体才适合长期在80°C以上环境下工作。不同的介质材料和护套材料的工作温度如下：

聚四氟乙烯PTFE	75°C到+250°C
聚乙烯PE	-65°C到+80°C
发泡聚乙烯PE	-65°C到+80°C
聚全氟乙丙烯FEP	-70°C到+200°C
聚氯乙烯PVC	-50°C到+85°C
ETFE	-65°C到+150°C
PFA	-65°C到+250°C
尼龙	-40°C到+105°C
硅橡胶	-70°C到+200°C

以上温度仅是材料常规型号的温度范围，详细数据还是要以材料厂家提供的数据为准。

另外，一些材料可以通过辐照交联的方式提高材料的最高使用温度。

## 国家标准(GB)

GB 12269-1990	射频电缆总规范
GB/T 2951.11-2008	电缆绝缘和护套材料_机械性能试验
GB/T 3048	电线电缆电性能试验方法
GB/T 11313-2013	射频连接器总规范：一般要求和试验方法
GB/T 11322.1-2013	射频电缆 第0部分：详细规范设计指南
GB/T 17737.1-2000	射频电缆 第1部分：总规范—总则、定义、要求和试验方法
GB/T 17738.1-1999	射频同轴电缆组件 第1部分总规范一般要求和试验方法

## 国家军用标准(GJB)

GJB 150-2009	军用装备实验室环境试验方法
GJB 360B-2009	电子及电气元件试验方法
GJB 680-1989	射频同轴连接器转接器总规范
GJB 681A-2002	射频同轴连接器通用规范
GJB 973A-2004	柔软半硬射频电缆通用规范
GJB 1215A-2005	射频电缆组件通用规范
GJB 1217A-2009	电连接器试验方法
GJB 5246-2004	射频连接器界面

## 航天标准(QJ)

QJ 165B-2014	航天电子电气产品安装通用技术要求
QJ 603A-2006	电缆组装件制作通用技术要求
QJ 2828-1996	电子装联术语
QJ 3117A-2011	航天电子电气用产品手工焊接工艺技术要求
QJ 3136-2001	射频同轴电缆组件的制备、装配和安装



## 特征阻抗(Impedance Ohms)

$$Z_0 = 138 \cdot V_p \cdot \log(D/d \cdot k_s) = 60 \cdot V_p \cdot \ln(D/d \cdot k_s)$$
$$Z_0 = 138 \cdot \log(D/d \cdot k_s) / \sqrt{\epsilon} = 60 \cdot \ln(D/d \cdot k_s) / \sqrt{\epsilon}$$
$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

## 传播速率Vp和介电常数(ε)

$$V_p = 1 / \sqrt{\epsilon}$$
$$\epsilon = 1 / (V_p)^2$$

## 时延(nS/M)

$$T_d = 3.33 / V_p = 3.33 \cdot \sqrt{\epsilon}$$

## 电容(pF/M)

$$C = 24 \cdot \epsilon / \log(D/d \cdot k_s) = 55.6 \cdot \epsilon / \ln(D/d \cdot k_s)$$
$$C = 24 / (V_p^2 \cdot \log(D/d \cdot k_s)) = 55.6 / (V_p^2 \cdot \ln(D/d \cdot k_s))$$
$$C = 1016 / (Z_0 \cdot V_p)$$

## 电感(uH/M)

$$L = 0.46 \cdot \log(D/d \cdot k_s) = 0.199 \cdot \ln(D/d \cdot k_s)$$
$$L = Z_0^2 \cdot C \cdot 1 \times 10^{-6}$$

## 衰减(dB/100M)

$$\alpha = K_1 \cdot \sqrt{F} + K_2 \cdot F$$

## 截止频率(GHz)

$$F_{co} = 190 \cdot V_p / (D + d \cdot k_s)$$
$$F_{co} = 190 / (\sqrt{\epsilon} \cdot (D + d \cdot k_s))$$

## 波长(mm)

$$L_w = 300 \cdot V_p / F_{GHz}$$
$$L_w = 300 / (F_{GHz} \cdot \sqrt{\epsilon})$$

## 单位度数物理长度(mm)

$$D_L = 300 \cdot V_p / (F_{GHz} \cdot 360)$$
$$D_L = 300 / (F_{GHz} \cdot \sqrt{\epsilon} \cdot 360)$$

## 电子度(°)

$$\Phi = L_{TH} \cdot F_{GHz} \cdot 360 / (300 \cdot V_p)$$
$$\Phi = L_{TH} \cdot F_{GHz} \cdot 360 \cdot \sqrt{\epsilon} / 300$$

## 频率(GHz)

$$F = 300 \cdot V_p / L_w$$
$$F = 300 / (L_w \cdot \sqrt{\epsilon})$$

## 温度相位(ppm)

$$PTC = \Delta \Phi \cdot 1 \times 10^6 / (\Phi \cdot \Delta T)$$

## 温度相位变化度数(ppm)

$$\Delta \Phi = \Phi \cdot PTC \cdot 1 \times 10^{-6}$$
$$\Delta \Phi = L_{TH} \cdot F_{GHz} \cdot 360 / (300 \cdot V_p) \cdot PTC \cdot 1 \times 10^{-6}$$
$$\Delta \Phi = L_{TH} \cdot F_{GHz} \cdot 360 \cdot \sqrt{\epsilon} / 300 \cdot PTC \cdot 1 \times 10^{-6}$$

## 回波损耗(dB)

$$RL = -20 \cdot \log \Gamma$$
$$RL = -20 \cdot \log((VSWR - 1) / (VSWR + 1))$$

## VSWR

$$VSWR = 1 + \Gamma / (1 - \Gamma)$$
$$VSWR = 1 + 10^{-RL/20} / (1 - 10^{-RL/20})$$

## 匹配效率

$$ME = [1 - (VSWR - 1) / (VSWR + 1)]^2 \cdot 100$$

## 匹配损耗

$$MML = -10 \cdot \log[1 - (VSWR - 1) / (VSWR + 1)]$$

## 射频电缆、连接器和组件常用标准

材料	介电常数	介质损耗角	电容	温度 (°C)
PTFE	2.07	0.0003	95.9	-75 to +250
Polyethylene	2.3	0.0003	101.1	-65 to +80
Foam Polyethylene	1.29-1.64	0.0001	75.72-85.38	-65 to +100
Polyvinylchloride	3.0-8.0	0.07-0.16	115.47-188.56	-50 to +105
Polyamide	3.5-4.6	0.03-0.4	124.72-254.73	-60 to +120
Silicone Rubber	2.1-3.5	0.007-0.016	96.61-124.72	-70 to +250
Ethylene Propylene	2.24	0.00046	99.8	-40 to +105
FEP	2.1	0.0007	96.6	-70 to +200
Low Density PTFE	1.38-1.73	0.00005	78.3-87.7	-75 to +250
Foam FEP	1.45	0.0007	80.3	-75 to +200
Polyimide	3.0-3.5	0.002-0.003	115.5-124.7	-75 to +300
PFA	2.1	0.001	96.6	-75 to +260
ETFE	2.6	0.005	107.5	-75 to +150
ECTFE	2.5	0.0015	105.4	-65 to +150
PVDF	7.8	0.02	186.2	-75 to +125

## 波段划分表

雷达命名方式				ITU命名方式	
波段字母表示	频率范围	典型应用	符号	频率范围	ITU分配的雷达专用频段（第三区）
HF	3-30MHz	1.远距离短驳通信 2.调幅广播	HF	3-30MHz	—
VHF	30-300MHz	1.航空 / 水面无线电导航定位 2.广播	VHF	30-300MHz	223-230MHz
UHF	30-1000MHz	1.移动通信: GSM/WCDMA / TDSCDMA / LTE; 2.无线通信: WLAN / Bluetooth.WIMAX; 3.GPS卫星导航; 4.数字广播通信:DVB 5.RFID	UHF	0.3-3GHz	420-450MHz; 890-942MHz; (216-450MHz 通常称作P波段)
L	1-2GHz				1215-1400MHz
S	2-4GHz	1.广播卫星 2.气象卫星 3.地球探测卫星 4.雷达 5.射电天文	SHF	3-30GHz	2300-2500MHz; 2700-3700MHz; 4200-4400MHz; 5250-5925MHz;
C	4-8GHz				8.5-10.68GHz; 13.4-14GHz; 15.7-17.7GHz;
X	8-12GHz				
Ku	12-18GHz				24.05-24.25GHz
K	18-27GHz				33.4-36GHz
Ka	27-40GHz	1.雷达 2.卫星通信 3.射电天文	EHF	30-300GHz	59-64GHz
V	50-75GHz				76-81GHz; 92-100GHz;
W	75-110GHz				126-142GHz; 144-149GHz; 231-235GHz;
mm	110-300GHz				



专于品 简于道



嘉兴翼波电子有限公司

浙江省嘉兴市秀洲区闻川路1068路, 邮编: 314000

电话: 0573-83528518

传真: 0573-83528519

邮箱: sales@focusimple.com

网址: www.focusimple.com



欢迎关注翼波电子公众号