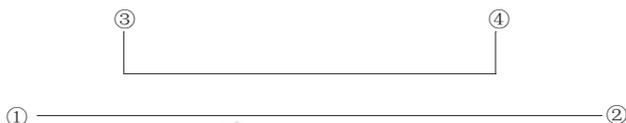


## 1.4 波导耦合器

耦合器是雷达通信等电子设备微波传输系统中常用的元器件之一。波导定向耦合器是一种四端口器件，如图所示，①-②，③-④各为一根传输线，线间有一定的耦合结构。当信号从①端口输入时，一部分信号从②端口直接输出， $S_{21}$ ，还有一部分信号会根据耦合结构耦合到③ $S_{31}$ 或④ $S_{41}$ 通道中。有趣的是，在同轴定向耦合器中， $S_{31}$ 是耦合系数，则 $S_{41}$ 是隔离系数。 $S_{41}/S_{31}$ 就是方向性系数。取对数运算后，它们的dB值分别是耦合度、隔离度和方向性。而在平行波导定向耦合器中， $S_{41}$ 是耦合系数， $S_{31}$ 是隔离系数。



由于耦合器的定向耦合特性和耦合度大小可任意设计的特点，在微波与雷达馈线系统中被广泛用于监测、测量和功率分配/合成。HD系列波导耦合器种类及其区别如下：

类别	特点	适用场景	外形
波导高方向性耦合器	覆盖全波导带宽，耦合度可选范围3-60dB，方向性40-20dB，耦合平坦度最优	高精度测量，系统监测及测量	
波导十字定向耦合器	覆盖20%波导带宽，耦合度可选范围20-60dB，耦合平坦度优于波导环耦合器，方向性23-15dB	系统监测及测量	
波导环耦合器	覆盖20%波导带宽，耦合度可选范围20-60dB，方向性20-15dB，体积小	多用于10G以下大波导系统监测及测量	
3dB定向耦合器	覆盖20%波导带宽，耦合度3dB，两路输出相位相差90度	功率分配或合成	
探针耦合器	覆盖20%波导带宽，耦合度可选范围10-60dB，无方向性，耦合端驻波大，体积最小	简单的系统检测	

### 1.4.1 波导十字定向耦合器



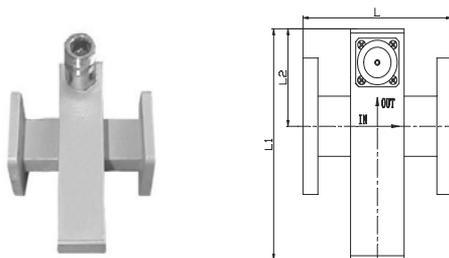
【产品简介】波导十字定向耦合器，20%波导带宽内的典型主线驻波  $VSWR \leq 1.10$ ，副线驻波  $VSWR \leq 1.25$ ，典型耦合度为 20/25/30/35/40/45/50/60dB，常用于系统监测和测量。

【型号描述】波导十字耦合器，波导管型号 BJ100，同轴接头为 N-K，耦合度为 30dB，材料为铝。



【产品类型】

类型	WL+C...c	WL+C...	W+C...	WL+CB...c
结构示意图				
适用波导管型号	BJ9-BJ320	BJ9-BJ900	BJ9- BJ900	BJ9-BJ320
工作带宽	$F0 \pm 10\%$	$F0 \pm 10\%$	$F0 \pm 10\%$	$F0 \pm 10\%$
可选耦合度...(dB)	20-60	20-60	20-60	20-60
耦合度频响 (dB)	$\pm 0.5 \sim \pm 1.0$			
方向性(dB)	15-20	15-20	15-20	15-20
主线驻波比	1.10	1.10	1.10	1.10
耦合输出口	N、SMA、2.92	波导	波导	N、SMA、2.92



【WL+C...c 系列标准产品数据表】

产品型号	频率范围 (GHz)	工作 带宽	主线 驻波 比	副线驻 波比	可选 耦合度 ...(dB)	方向 性 (dB)	法兰	耦合 输出 接头	外形尺寸 (mm) LXL1XL2	材料	涂覆
HD-12WL+C...N	0.96-1.46	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	400x760x250	铝	氧化
HD-14WL+C...N	1.13-1.73	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	320x460x160	铝	氧化
HD-18WL+C...N	1.45-2.20	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	285x510x180	铝	氧化
HD-22WL+C...N	1.72-2.61	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	240x390x140	铝	氧化
HD-26WL+C...N	2.17-3.30	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	190x280x110	铝	氧化
HD-32WL+C...N	2.60-3.95	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	180x275x88	铝	氧化
HD-40WL+C...N	3.22-4.90	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	170x240x90	铝	氧化
HD-48WL+C...N	3.94-5.99	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	137x200x83	铝	氧化
HD-58WL+C...N	4.64-7.05	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	120x170x65	铝	氧化
HD-70WL+C...N	5.38-8.17	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FDP	N-K	90x150x60	铝	氧化
HD-84WL+C...N	6.57-9.99	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FBP	N-K	82x120x50	铜	镀银
HD-100WL+C...N	8.2-12.40	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FBP	N-K	70x85x40	铜	镀银
HD-120WL+C...N	9.84-15.0	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FBP	N-K	60x83x35	铜	镀银
HD-140WL+C...S	11.9-18.0	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FBP	SMA-K	60x65x30	铜	镀银
HD-180WL+C...S	14.5-22.0	≤20%	≤1.10	≤1.25	20~60	≥15	FBP	SMA-K	60x70x30	铜	镀银
HD-220WL+C...K	17.6-26.7	≤20%	≤1.10	≤1.5	20~60	≥15	FBP	2.92-K	65x54x30	铜	镀银
HD-260WL+C...K	21.7-33.0	≤20%	≤1.10	≤1.5	20~60	≥15	FBP	2.92-K	60x50x25	铜	镀银
HD-320WL+C...K	26.5-40.0	≤20%	≤1.10	≤1.5	20~60	≥15	FBP	2.92-K	42x50x20	铜	镀银

#### 1.4.2 多臂十字定向耦合器组件





产品型号	频率范围 (GHz)	工作 带宽	可选耦 合度 ...(dB)	方向性 (dB)	主线 驻波比	副线 驻波比	法兰	耦合输 出接头 类型	长度 (mm)	材料	涂覆
HD-14WHC...N	1.13-1.73	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	220	铝	氧化
HD-18WHC...N	1.45-2.20	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	210	铝	氧化
HD-22WHC...N	1.72-2.61	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	160	铝	氧化
HD-26WHC...N	2.17-3.30	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	160	铝	氧化
HD-32WHC...N	2.60-3.95	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	150	铝	氧化
HD-40WHC...N	3.22-4.90	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	130	铝	氧化
HD-48WHC...N	3.94-5.99	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	130	铝	氧化
HD-58WHC...N	4.64-7.05	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	130	铝	氧化
HD-70WHC...N	5.38-8.17	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	130	铝	氧化
HD-84WHC...N	6.57-9.99	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FBP	N-K	130	铜	镀银
HD-100WHC...N	8.2-12.4	≤20%	20~60	≥15	≤1.10	≤1.25	FBP	N-K	100	铜	镀银

#### 1.4.4 双脊波导环耦合器



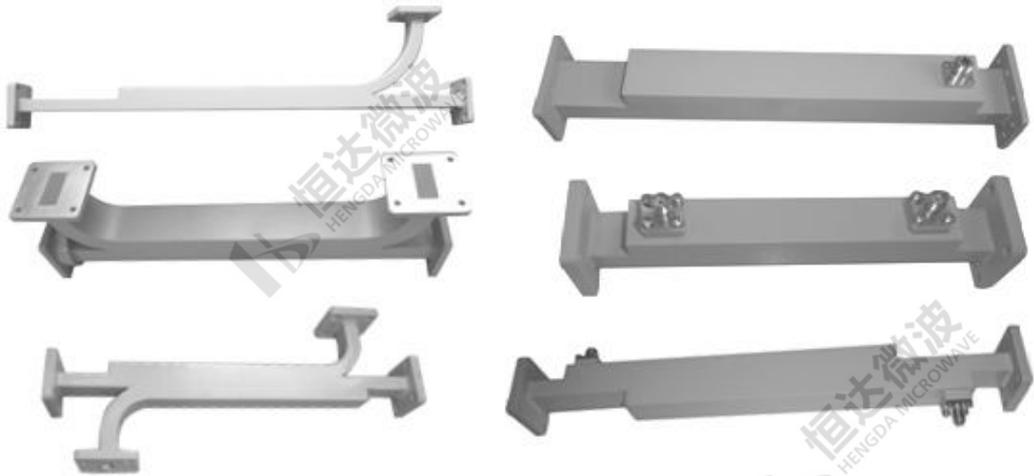
【DRWHC 系列标准产品数据表】

产品型号	频率 范围 (GHz)	可选 耦合 度...(dB)	方向 性 (dB)	主线 驻波 比	副线 驻波 比	法兰	耦合输 出接头 类型	长度 (mm)	材 料	涂覆
HD-84DRWHC...N	0.84-2	20~60	≥15	≤1.15	≤1.60	FP	N-K	300	铝	氧化
HD-150DRWHC...N	1.5-3.6	20~60	≥15	≤1.15	≤1.60	FP	N-K	200	铝	氧化
HD-200DRWHC...N	2-4.8	20~60	≥15	≤1.15	≤1.60	FP	N-K	180	铝	氧化
HD-250DRWHC...N	2.6-7.8	20~60	≥15	≤1.15	≤1.60	FP	N-K	150	铝	氧化
HD-350DRWHC...N	3.5-8.2	20~60	≥15	≤1.15	≤1.60	FP	N-K	120	铝	氧化
HD-475DRWHC...N	4.75-11	20~60	≥10	≤1.15	≤1.80	FP	N-K	100	铝	氧化
HD-500DRWHC...N	5-18	20~60	≥10	≤1.15	≤1.80	FP	N-K	100	铝	氧化
HD-580DRWHC...N	5.8-16	20~60	≥10	≤1.15	≤1.80	FP	N-K	100	铝	氧化
HD-650DRWHC...N	6.5-18	20~60	≥10	≤1.15	≤1.80	FP	N-K	100	铝	氧化
HD-750DRWHC...N	7.5-18	20~60	≥10	≤1.15	≤1.80	FP	N-K	100	铝	氧化



产品型号	频率范围 (GHz)	可选耦合度 (dB)	方向性 (dB)	主线驻波比	副线驻波比	法兰	耦合输出接头类型	长度 (mm)	材料	涂覆
HD-700DRWHC...N	7-18.5	20~60	≥10	≤1.15	≤1.80	FP	N-K	100	铝	氧化
HD-1100DRWHC...N	11-26.5	20~60	≥10	≤1.20	≤2.0	FP	SMA-K	80	铜	镀银
HD-1800DRWHC...N	18-40	20~60	≥10	≤1.20	≤2.0	FP	SMA-K	80	铜	镀银

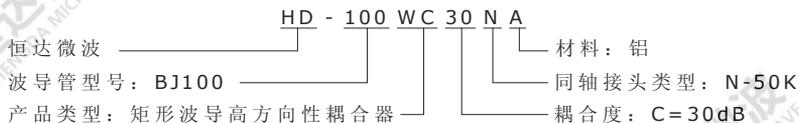
### 1.4.5 波导高方向性耦合器



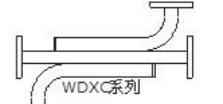
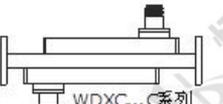
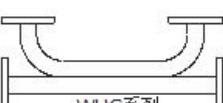
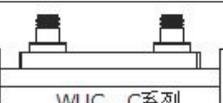
【产品简介】HD 系列波导高方向性耦合器采用宽边多孔切比雪夫叠加阵列设计，具有在全波导带宽范围内 $\pm 0.5\text{dB}$  的耦合平稳度和高达  $40\text{dB}$  的方向性，主波导驻波小，可承受大功率。是雷达、通信设备天线馈线系统中进行入射/反射波取样的最好定向器件之一，被广泛用于微波测量、取样、大功率检测、微波馈电系统、雷达、通讯、导航、卫星通信等设备中。在标量网络分析仪和矢量网络分析仪的波导反射测量中，推荐采用该系列产品作为反射取样器件，以避免校准、和测试过程中产生的人为和系统误差。

HD 系列波导高方向性耦合器的耦合度可以从  $3\text{dB} - 60\text{dB}$ ，对应方向性  $40-30\text{dB}$ 。其缺点是由于负载的长度和预留负载安装长度，使得该耦合器的长度相对较长些。

【型号描述】波导高方向性耦合器，波导管型号 BJ100，同轴接头为 N-K，耦合度  $30\text{dB}$ ，耦合输出接口为 N-K，材料为铝（材料为铜时缺省）。



## 【产品类型】

产品类型	产品外形图	适用波导型号	工作带宽	可选耦合度 dB	平均耦合精度 dB	耦合度频响 dB	方向性 dB
单定向		BJ9-BJ900	全带宽	3-60	$\pm 0.7 \sim \pm 1.5$	$\pm 0.7 \sim \pm 1.5$	30-40
		BJ9-BJ900	全带宽	3-60	$\pm 0.7 \sim \pm 1.5$	$\pm 0.7 \sim \pm 1.5$	30-40
双向		BJ9-BJ900	全带宽	3-60	$\pm 0.7 \sim \pm 1.5$	$\pm 0.7 \sim \pm 1.5$	30-40
		BJ9-BJ900	全带宽	3-60	$\pm 0.7 \sim \pm 1.5$	$\pm 0.7 \sim \pm 1.5$	30-40
双向		BJ9-BJ900	全带宽	3-60	$\pm 0.7 \sim \pm 1.3$	$\pm 0.5 \sim \pm 1.8$	30-40
		BJ9-BJ900	全带宽	3-60	$\pm 0.7 \sim \pm 1.3$	$\pm 0.5 \sim \pm 1.8$	30-40
其他							

【标准产品数据表】HD-WC 系列波导高方向性耦合器

产品型号	频率范围	可选耦	方向性	主线	副线	法兰	耦合输出	材料	涂覆
HD-9WC...N	0.75-1.15	3~60	30~40	$\leq 1.10$	$\leq 1.25$	FDP	N-K	铝	氧化
HD-12WC...N	0.96-1.46	3~60	30~40	$\leq 1.10$	$\leq 1.25$	FDP	N-K	铝	氧化
HD-14WC...N	1.13-1.73	3~60	30~40	$\leq 1.10$	$\leq 1.25$	FDP	N-K	铝	氧化
HD-18WC...N	1.45-2.20	3~60	30~40	$\leq 1.10$	$\leq 1.25$	FDP	N-K	铝	氧化
HD-22WC...N	1.72-2.61	3~60	30~40	$\leq 1.10$	$\leq 1.25$	FDP	N-K	铝	氧化



产品型号	频率范围	可选耦	方向性	主线	副线	法兰	耦合输出	材料	涂覆
HD-26WC...N	2.17-3.30	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	铝	氧化
HD-32WC...N	2.60-3.95	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	铝	氧化
HD-40WC...N	3.22-4.90	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	铝	氧化
HD-48WC...N	3.94-5.99	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	铝	氧化
HD-58WC...N	4.64-7.05	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	铝	氧化
HD-70WC...N	5.38-8.17	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FDP	N-K	铝	氧化
HD-84WC...N	6.57-9.99	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FBP	N-K	铜	镀银
HD-100WC...N	8.20-12.40	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FBP	N-K	铜	镀银
HD-120WC...N	9.84-15.0	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FBP	N-K	铜	镀银
HD-140WC...S	11.9-18.0	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FBP	SMA-K	铜	镀银
HD-180WC...S	14.5-22.0	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FBP	SMA-K	铜	镀银
HD-220WC...K	17.6-26.7	3~60	30~40	≤1.10	≤1.50	FBP	2.92-K	铜	镀银
HD-260WC...K	21.7-33.0	3~60	30~40	≤1.10	≤1.50	FBP	2.92-K	铜	镀银
HD-320WC...K	26.5-40.0	3~60	30~40	≤1.10	≤1.50	FBP	2.92-K	铜	镀银
HD-400WC...	32.9-50.1	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FUGP	波导口	铜	镀金
HD-500WC...	39.2-59.6	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FUGP	波导口	铜	镀金
HD-620WC...	49.8-75.8	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FUGP	波导口	铜	镀金
HD-740WC...	60.5-91.9	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FUGP	波导口	铜	镀金
HD-900WC...	73.8-112	3~60	30~40	≤1.10	≤1.25	FUGP	波导口	铜	镀金

#### 1.4.6 双脊波导高方向性耦合器

由于双脊波导带宽在倍频程至三倍程，如此宽的带宽给双脊波导高方向性耦合器的设计带来难度。恒达产品已经达到和接近进口产品的水平，可以替代进口用于宽带大功率脊波导系统中。



【DRWC 系列标准产品数据表】

产品型号	频率范围 (GHz)	可选耦合度 ... (dB)	耦合度频响 (dB)	方向性 (dB)	主线驻波比	副线驻波比	法兰	耦合输出接头类型	材料	涂覆
HD-84DRWC...N	0.84-2	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-150DRWC...N	1.5-3.6	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-200DRWC...N	2-4.8	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-250DRWC...N	2.6-7.8	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-350DRWC...N	3.5-8.2	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-475DRWC...N	4.75-11	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-500DRWC...N	5-18	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-580DRWC...N	5.8-16	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-650DRWC...N	6.5-18	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.5	FP	N-K	铝	氧化
HD-750DRWC...N	7.5-18	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.25	FP	N-K	铝	氧化
HD-700DRWC...N	7-18.5	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.25	FP	N-K	铝	氧化
HD-1100DRWC...N	11-26.5	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.25	FP	SMA-K	铜	镀银
HD-1800DRWC...N	18-40	20~60	±1.5	≥25	≤1.10	≤1.25	FP	SMA-K	铜	镀银

#### 1.4.7 波导侧边高方向性耦合器



【产品简介】恒达微波提供一系列标准矩形波导侧边(窄边)耦合器, 由于采用侧边磁耦合, 可以承受更大的功率, 常用于大功率波导传输系统中作入射和反射取样器件。

【型号描述】波导环耦合器, 波导管型号 BJ100, 同轴接头为 N-K, 耦合度为 30dB, 材料为铝 (材料为铜时缺省)。

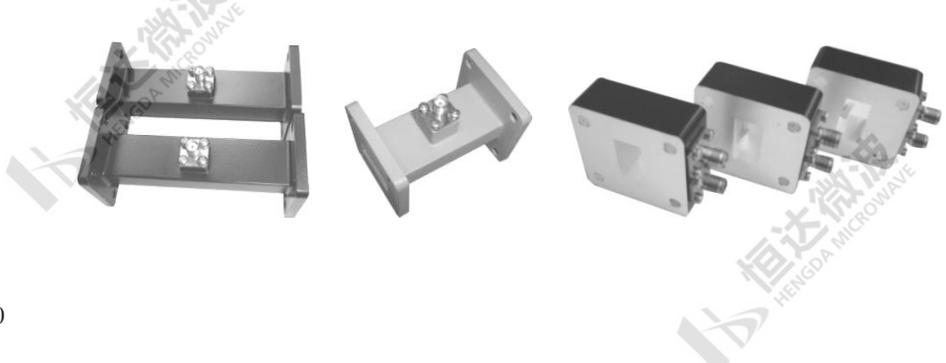
恒达微波 ———— HD - 100 WNC 30 N A 材料: 铝  
 波导管型号: BJ100 ———— 同轴接头类型: N-50K  
 产品类型: 矩形波导侧边耦合器 ———— 耦合度: C=30dB

类型代码	含义	类型代码	含义
WNC	表示波导侧边耦合器	WNC...C	表示同轴输出波导侧边耦合器
WDNC	表示波导双向侧边耦合器	WDNC...C	表示同轴输出双向侧边耦合器

【标准产品数据表】

产品型号	频率范围 (GHz)	可选 耦合度 ...(dB)	方向性 (dB)	主线 驻波比	副线 驻波比	法兰	材料	涂覆
HD-9WNC...	0.75-1.15	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-12WNC...	0.96-1.46	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-14WNC...	1.13-1.73	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-18WNC...	1.45-2.20	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-22WNC...	1.72-2.61	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-26WNC...	2.17-3.30	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-32WNC...	2.60-3.95	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-40WNC...	3.22-4.90	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-48WNC...	3.94-5.99	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-58WNC...	4.64-7.05	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-70WNC...	5.38-8.17	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FDP	铝	氧化
HD-84WNC...	6.57-9.99	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FBP	铜	镀银
HD-100WNC...	8.20-12.40	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FBP	铜	镀银
HD-120WNC...	9.84-15.0	3~60	15~30	≤1.10	≤1.25	FBP	铜	镀银
HD-140WNC...	11.9-18.0	3~60	15~30	≤1.10	≤1.35	FBP	铜	镀银
HD-180WNC...	14.5-22.0	3~60	15~30	≤1.10	≤1.35	FBP	铜	镀银
HD-220WNC...	17.6-26.7	3~60	15~30	≤1.10	≤1.40	FBP	铜	镀银
HD-260WNC...	21.7-33.0	3~60	15~30	≤1.10	≤1.60	FBP	铜	镀银
HD-320WNC...	26.5-40.0	3~60	15~30	≤1.15	≤1.50	FBP	铜	镀银
HD-400WNC...	32.9-50.1	3~60	15~28	≤1.15	≤2.00	FUGP	铜	镀金
HD-500WNC...	39.2-59.6	3~60	15~26	≤1.15	≤2.00	FUGP	铜	镀金
HD-620WNC...	49.8-75.8	3~60	15~26	≤1.20	≤2.00	FUGP	铜	镀金
HD-740WNC...	60.5-91.9	3~60	15~26	≤1.20	≤2.00	FUGP	铜	镀金
HD-900WNC...	73.8-112	3~60	15~26	≤1.20	≤2.00	FUGP	铜	镀金

### 1.4.8 波导探针耦合器



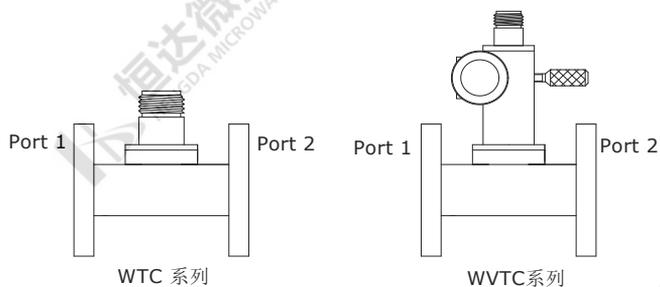
【产品简介】波导探针耦合器没有方向性，常用于波导系统中的简单检测，有固定探针耦合器和可调探针耦合器两种类型。

【型号描述】波导探针耦合器，波导管型号 BJ100，同轴接头为 N-50K，耦合度为 30dB，材料为铝。

恒达微波 ———— HD - 100 WTC 30 N A 材料：铝  
 波导管型号：BJ100 ———— 同轴接头类型：N-50K  
 产品类型：矩形波导探针耦合器 ———— 耦合度：C=30dB

#### 【产品类型】

类型代码	含义	类型代码	含义
WTC	波导探针耦合器	WVTC	波导可调探针耦合器



#### 【标准产品数据表】

产品型号	频率范围 (GHz)	可选耦合度 ... (dB)	耦合输出接头类型	主线驻波比	法兰	材料	涂覆
HD-40WTC...N	3.22-4.90	30~60	N-K	≤1.05	FDP	铝	氧化
HD-48WTC...N	3.94-5.99	30~60	N-K	≤1.05	FDP	铝	氧化
HD-58WTC...N	4.64-7.05	30~60	N-K	≤1.05	FDP	铝	氧化
HD-70WTC...N	5.38-8.17	30~60	N-K	≤1.05	FDP	铝	氧化
HD-84WTC...N	6.57-9.99	30~60	N-K	≤1.05	FBP	铜	镀银
HD-100WTC...N	8.20-12.40	30~60	N-K	≤1.05	FBP	铜	镀银
HD-120WTC...N	9.84-15.0	30~60	N-K	≤1.05	FBP	铜	镀银
HD-140WTC...S	11.9-18.0	30~60	SMA-K	≤1.05	FBP	铜	镀银
HD-180WTC...S	14.5-22.0	30~60	SMA-K	≤1.05	FBP	铜	镀银
HD-220WTC...K	17.6-26.7	30~60	2.92-K	≤1.10	FBP	铜	镀银
HD-260WTC...K	21.7-33.0	30~60	2.92-K	≤1.10	FBP	铜	镀银
HD-320WTC...K	26.5-40.0	30~60	2.92-K	≤1.10	FBP	铜	镀银

### 1.4.9 波导分支式耦合器

<p>产品型号: HD-260WTWXC3AT                  频率范围: 26-28.35GHz                  耦合度: <math>C=3\pm 0.2\text{dB}</math>                  方向性: <math>\geq 20\text{dB}</math>                  主线驻波(VSWR)<math>\leq 1.10</math>                  相位: <math>90^\circ \pm 1^\circ</math>                  波导类型: BJ260/WR34</p>	
<p>产品型号: HD-32WBGC5.5T                  频率范围: 3.05-3.45GHz                  耦合度: <math>C=5.5\pm 0.3\text{dB}</math>                  方向性: <math>\geq 20\text{dB}</math>                  主线驻波(VSWR)<math>\leq 1.15</math>                  副线驻波(VSWR)<math>\leq 1.15</math>                  承受功率: 峰值 200KW, 平均 2KW                  波导类型: BJ32/WR284</p>	

### 1.4.10 圆波导探针耦合器

圆波导探针耦合器用于圆波导测量系统中对圆波导中的电场进行弱耦合,用以测量圆波导中极化偏转情况或圆极化的轴比。为了对圆波导中的场扰动最小,耦合度应在 25dB 以上。同时耦合孔和耦合探针沿圆周均匀分布。测量时,一个探针接入测量系统,其它探针接匹配负载。

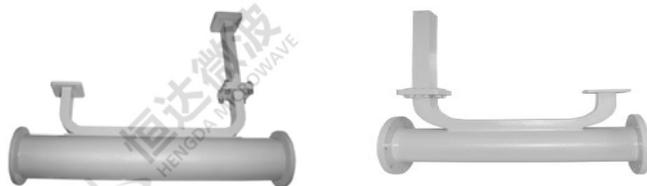


【标准产品数据表】

产品型号	频率范围 (GHz)	驻波比	耦合度 (dB)	圆波导内腔直径(mm)	耦合输出接头类型	材料	涂覆
HD-100CWTC30N	2.0~4.0	$\leq 1.1$	30	100	N-K	铝	氧化
HD-61.04CWTC30N	3.3~3.8	$\leq 1.1$	30	61.04	N-K	铝	氧化
HD-51.99CWTC30N	3.89~5.33	$\leq 1.1$	30	51.99	N-K	铝	氧化
HD-37CWTC30N	4.5~6.5	$\leq 1.1$	30	37	N-K	铝	氧化
HD-27.78CWTC30S	7.4~9.0	$\leq 1.1$	30	27.78	SMA-K	铝	氧化
HD-23.825CWTC30S	9.1~10.0	$\leq 1.1$	30	23.825	SMA-K	铝	氧化

产品型号	频率范围 (GHz)	驻波比	耦合度 (dB)	圆波导内腔 直径(mm)	耦合输出 接头类型	材料	涂覆
HD-20.244CWTC30S	8.5~10.5	≤1.1	30	20.244	SMA-K	铝	氧化
HD-14CWTC30S	15.0~17.0	≤1.1	30	14	SMA-K	铜	镀银
HD-11.25CWTC30S	18.2~24.9	≤1.1	30	11.25	SMA-K	铜	镀银
HD-11CWTC30S	17.7~21.2	≤1.1	30	11	SMA-K	铜	镀银
HD-7.137CWTC30S	27.5~31	≤1.1	30	7.137	SMA-K	铜	镀银

### 1.4.11 特殊模式下的圆波导定向耦合器



【标准产品数据表】

产品型号	频率范围 (GHz)	驻波比	耦合度 (dB)	圆波导 内腔直 径(mm)	主波导 模式	矩形波导接口		材料	涂覆
						国标	EIA		
HD-88CWUC48T	4.2-4.8	≤1.2	50	88	TE01	BJ48	WR187	铜	镀银
HD-49.5CWUC70T	5.7-6.7	≤1.2	50	49.2	TE01	BJ70	WR137	铜	镀银
HD-49.5CWUC100T	8.8-9.8	≤1.2	50	49.5	TE01	BJ100	WR90	铜	镀银
HD-49.5CWUC100T1	9.2-10.2	≤1.2	50	49.5	TE01	BJ100	WR90	铜	镀银

### 1.4.12 波导谐波耦合器



【型号描述】波导谐波耦合器，波导管型号 BJ84，同轴接头为 N-K，耦合度为 55dB，材料为铜。

HD- 84 W3HSC 55 N

恒达微波

波导管型号：BJ84

产品类型：矩形波导H面三次谐波耦合器

同轴接头类型：N-50K

耦合度：55dB



【标准产品数据表】

产品型号	频率范围 (GHz)	主线驻 波比	耦合度 (dB)	方向性 (dB)	主通道波导类型		法兰	材料	涂覆
					国标	EIA			
HD-32W2HSC40NT1	F1: 5.2-8 F2: 7.8-12	≤1.15	C1: 40 C2: 40	D1≥25 D2≥15	BJ32	WR284	FDP	铜	镀银
HD-48W2HSC40NT1	F1: 8-12 F2: 12-18	≤1.15	C1: 40 C2: 40	D1≥20 D2≥20	BJ48	WR187	FDP	铜	镀银
HD-84W2HSC60P	F1: 8.6-9.5 F2: 17-19	≤1.15	C1: 60 C2: 40	D1≥25 D2≥25	BJ84	WR112	FBP	铜	镀银
HD-84W3HSC55N	F1: 7.5-8.7 F2: 15-17.4 F3: 22.5-26.1	≤1.15	C1: 55 C2: 45 C3: 45	D1≥25 D2≥15 D3≥15	BJ84	WR112	FBP	铜	镀银

## 大功率微波谐波取样测量技术研究

伍捍东<sup>1</sup> 李科娟<sup>1</sup> 刘阳洋<sup>2</sup> 任宇辉<sup>2</sup>

(西安恒达微波技术开发公司, 西安 710100)<sup>1</sup> (西北大学信息科学与技术学院, 西安 710127)

whd@hdmicrowave.com

**摘要:** 大功率微波发射机所生成的大功率微波信号, 总是伴随有谐波分量, 给微波系统性能带来恶化。如何准确测量出此谐波分量的电平并加以抑制, 是一个长期困扰大功率发射机和发射系统研究人员的课题。作者追踪研究多年, 提出了精确测量谐波电平的技术方案, 可以解决发射机信号质量的评价和准确测定谐波抑制效果, 从而最终解决大功率信号谐波抑制问题。

**关键词:** 大功率微波发射机、谐波取样、谐波抑制、微波测量

### 1 问题的提出

多年来, 多次接到各地同行有关微波大功率信号谐波处置问题的探讨。问题主要集中在: (1) 大功率微波发射机伴随的谐波分量严重影响微波系统的技术性能; (2) 难以准确测量和评价谐波电平, 造成供需两方的评价矛盾; (3) 在抑制谐波的过程中, 极易影响发射机末级的正常工作; (4) 谐波抑制过程中基波损耗偏大。

### 2 原因分析

大功率微波发射机伴随的谐波分量, 严重影响微波系统的技术性能, 是一个不争的事实。谐波信号在传输系统中的传输, 以及在天线辐射过程中, 并不遵循已经设计好的基波传输参数和辐射参数, 因此无法准确预知谐波分量经过传输系统和天线后的辐射特性, 以及对发射机和传输系统参数的恶化程度。

难以准确测量和评价谐波电平的问题, 有人认为这不应该是个问题, 用频谱仪可以在很宽的频率范围

内观察到谐波波谱的存在和准确的频率与电平值。是的，问题在于频谱仪不能直接接到发射机的输出端测量，也不能在大功率传输系统中直接测量。在频谱仪与被测量大功率信号之间必须有一个取样装置，该取样装置的取样耦合度必须准确已知，才能带入频谱仪测量结果中计算出准确的基波和谐波电平。而如此宽带（数个倍频程带宽）的取样器件的设计和自身的准确测量本身也是个问题！况且，在非双导体传输系统如矩形波导中，谐波传输模式并不是基模传输，其每个元器件的 S 参数以及级联后的 S 参数都很难预测和实测！即使在宽带传输系统如同轴线系统中，如此宽带要求的大功率取样器也很难设计！

在抑制谐波的过程中，发射机工程师发现，抑制措施极易影响发射机末级的正常工作。许多人可能认为隔离器、环形器可以解决发射机与传输系统和天线之间的隔离问题。事实上是不行的。隔离器和环形器可以解决基波信号的隔离问题，而对于谐波信号无法解决，且很能准确测量出它们的隔离度。波导传输线要转换到同轴线才能测量，而波导同轴转换器件本身也不能将谐波信号平坦地 0dB 转换。

谐波抑制过程中基波损耗偏大的问题，是一个与 2.3 问题共存的问题。抑制谐波分量的技术主要是低通滤波器法和谐波吸收式滤波器法。

前者由于把谐波反射回去使得输出谐波得到很好的抑制。但是，反射回去的谐波信号无节制地在传输系统中传输，很大一部分能量会返向发射机，而发射机的隔离器对此无能为力，不能提供保护作用。

后者设计时，为了减小对基波的影响，多采用谐波耦合吸收的原理，因此器件的尺寸重量都不是很理想，必然带来较大的基波损耗。

### 3 一种可以准确测量大功率微波谐波的取样测量技术

作者设计的测量大功率微波发射机谐波电平的谐波取样测量方案框图如图 1 示。

测量大功率微波器件、组件、传输系统的谐波参数测量框图如图 2 所示。

大功率微波谐波取样测量技术的关键在取样器和具有良好匹配性能的大功率基波谐波终端负载。

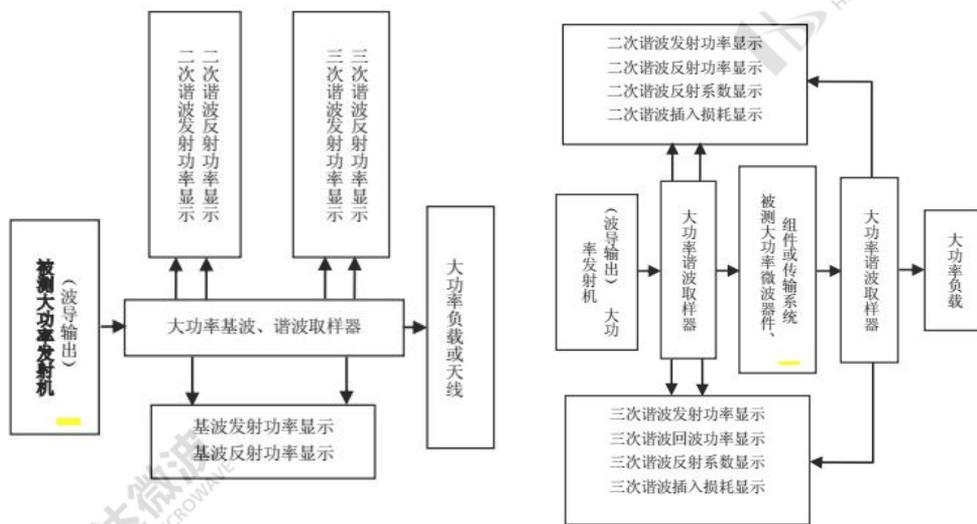


图 1 测量大功率发射机谐波电平的测量框图

图 2 大功率微波谐波参数测量框图

取样器的关键在取样耦合系数的精确测量。有了精确的耦合系数值，就可以精确测量微波谐波分量的电平值。

大功率基波谐波终端负载的关键，是在基波和谐波频率范围内均能够提供良好匹配性能。使得测量系



统不受终端匹配不良的影响而使测量值失准，同时使被测发射机不受谐波反射的影响而失真。基波、二次谐波、三次谐波大功率负载可以由干式负载、水冷负载、水负载、构成。但是设计原则不仅要考虑基波的匹配性能也要考虑到多次谐波的匹配性能，才能不使负载影响发射机、传输系统和谐波测量的结果。

#### 4 大功率波导谐波取样器的设计

大功率波导谐波取样器的设计，是基于小孔耦合理论，采用切比雪夫多孔叠加阵列耦合原理设计，同轴接口输出（图 a 示）。

可以获得在全波导带宽内，基波耦合器的耦合频响度小于  $\pm 0.5\text{dB}$ ，弱耦合下的方向性大于  $30\text{dB}$ ，强耦合下的方向性大于  $40\text{dB}$ 。图 b 所示为

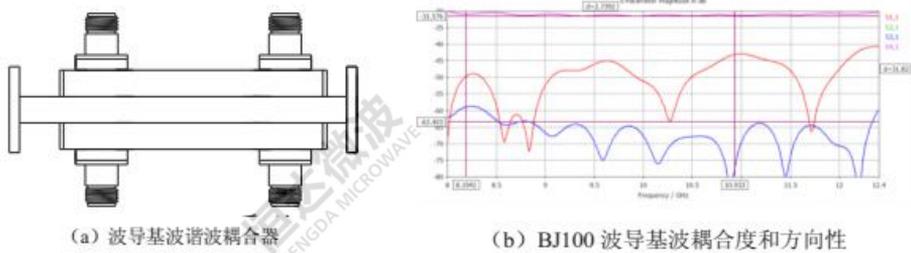


图 3 BJ100 波导基波谐波耦合器耦合度和方向性

图 4 所示为 X 波段矩形波导二次和三次谐波耦合器的计算结果。二次谐波耦合度频响在全波导带宽  $16\text{-}25\text{GHz}$  下小于正负  $0.5\text{dB}$ ，而方向性可以做到  $30\text{dB}$ ；三次谐波耦合度频率响应为单调直线型，方向性也可达  $20\text{dB}$ 。

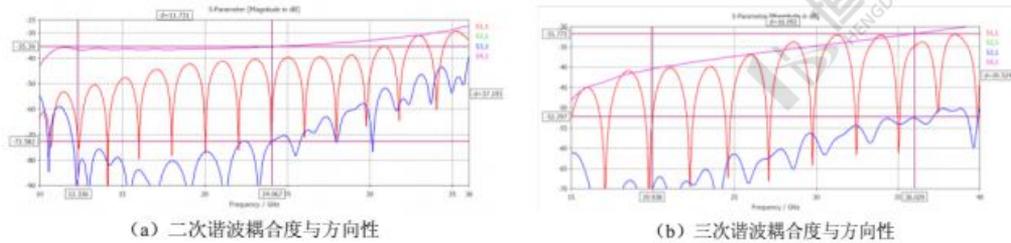


图 4 波导 (BJ-100) 谐波耦合器耦合度和方向性

#### 5 大功率同轴谐波取样器的设计

设计以 L 波段使用基波频率  $F=1\text{-}1.5\text{GHz}$ ，基波耦合度  $C=-50\text{dB}$ ；方向性大于  $20\text{dB}$ ；其 2 次谐波  $=2\text{-}3\text{GHz}$ ，3 次谐波  $=3\text{-}4.5\text{GHz}$ 。



图 5 同轴谐波取样耦合器模型

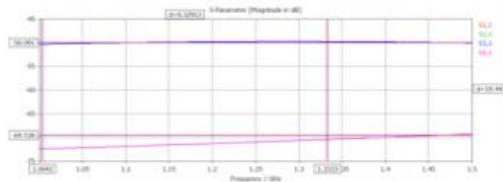


图 6 (a) 基波耦合度与方向性

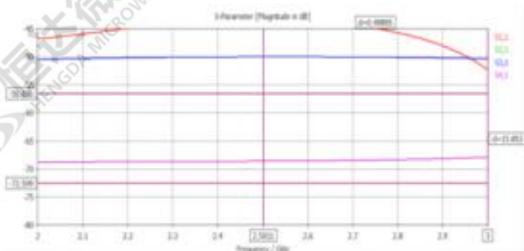


图 6 (b) 二次谐波耦合度与方向性

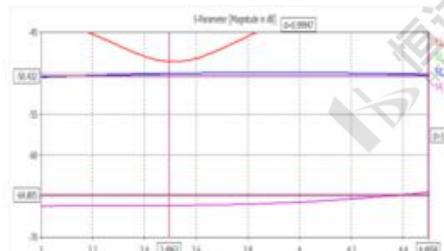


图 6 (c) 三次谐波耦合度与方向性

图 6 同轴取样器的基波、2 次谐波、3 次谐波的耦合度和方向性

### 6 波导谐波取样耦合器耦合度的定标

谐波取样耦合器的耦合度如何准确定标, 是准确测量谐波电平的关键。为了准确测量谐波耦合度, 需要设计谐波过渡波段段, 设在 X 波段 (BJ100), 基波频率=8-12.4GHz, 则 2 次和 3 次谐波分别为: 16-24.8GHz、24-37.2GHz。因为测量仪器信号源和频谱仪多是同轴输出输入的, 需要分别设计在谐波下的 0dB 过渡的非标波导同轴转换器+过渡到 BJ100 的波导过渡段。由此, 可以精确测量谐波取样器的耦合度, 从而可以准确测量出谐波的电平。当取样器具有高的定向性时, 还可以测量出谐波的反射系数, 从而可以研究谐波对发射机的影响程度和影响机理, 研究传输系统以及负载的谐波传输和反射参数。

### 7 结论

谐波问题是困扰大功率发射机和大功率发射系统研究人员的难题。精确取样测量技术可以帮助设计师们深入研究谐波的产生和抑制, 研究谐波与传输系统以及与天线之间的相互影响的内在关系, 找到最终解决方案。为大功率信号质量的提高和系统性能的提高提供了一个行之有效的技术方案。

#### 参考文献:

- [1] 汤世贤编著微波测量 (修订版) (M) 北京理工大学北京: 国防工业出版社 1991
- [2] 伍捍东提高小驻波比扫频测量精度的方法
- [3] 全国微波会议论文集 1987
- [4] 伍捍东魏茂华崔峰等 HDC-1 型微波高功率半自动测试系统, 全国军事微波会议论文集 2004

#### 作者简介:

伍捍东, 男, 江苏东台人。研究员级高工, 西安恒达微波总工程师, 中国电子学会微波分会、天线分会委员; 海峡两岸无线科技研讨会顾委委员。主要从事微波天线、元器件、测量等方面的研究。